



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PISA

Facoltà di Ingegneria

Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica

Tesi di Laurea:

STUDIO E PROGETTAZIONE DI UN SISTEMA DI ILLUMINAZIONE A CONTROLLO REMOTO

Relatori:

Prof. Roberto Roncella

Prof. Luca Fanucci

Prof. Roberto Saletti

Candidato:

Massimo Croce

Anno accademico 2004/2005

A mio Padre e mia Madre

INTRODUZIONE.....	5
1. STATO DELL'ARTE E STUDIO DI FATTIBILITÀ.....	6
1.1 DEFINIZIONI DELLE SPECIFICHE DEL SISTEMA E VALIDAZIONE ATTRAVERSO L'AMBIENTE LABVIEW	7
1.1.1 L'interfaccia grafica PC.....	7
1.1.2 La VI del Dispositivo.	8
1.1.3 Comunicazione tra le VI, ovvero tra l'interfaccia PC e il dispositivo su portalampada. ..	9
1.1.4 Collegamento Hardware: dal cavo seriale al link Bluetooth.....	9
2 IL LINK BLUETOOTH	10
2.1 MOTIVAZIONI DELLA SCELTA BLUETOOTH	10
2.2 SOLUZIONI PER IL COLLEGAMENTO BLUETOOTH.....	11
2.2.1 BlueCore RS232 Cable Replacement Example Design	12
2.2.2 Soluzione adottata: collegamento fra i moduli Casira.	16
2.2.3 Soluzioni Hardware plug and play: adattatori seriali Bluetooth.	16
3. STUDIO COMPARATIVO DELLE POSSIBILI FONTI LUMINOSE	22
3.1 INTRODUZIONE.....	22
3.2 NOZIONI D'ILLUMINOTECNICA	22
3.3 LAMPADE AD INCANDESCENZA	24
3.3.1 Lampada Classica.....	24
3.3.2 Lampada Alogene	25
3.4 LAMPADE TUBOLARI FLUORESCENTI.....	26
3.5 LAMPADE A SCARICA AD ALTA DENSITÀ (HID).....	30
3.6 IL FUTURO PROSSIMO DELL'ILLUMINAZIONE: POTENZIALITÀ DELLE TECNOLOGIE A STATO SOLIDO.	33
3.7 STATO DELL'ARTE DEI LED SUPERLUMINOSI E MOTIVAZIONI DELLA SCELTA LUXEON DI LUMILEDS.	39
3.7.1 Luxeon Power Light Sources: soluzione plug and play.....	40
3.7.2 Luxeon Emitter: massima personalizzazione.....	41
3.7.3 Luxeon Star: il giusto compromesso per la nostra scelta.....	42
4. I SENSORI DEL DISPOSITIVO.....	43
4.1 IL SENSORE DI PRESENZA.....	43
4.2 IL SENSORE DI LUMINOSITÀ.....	48
4.3 IL SENSORE DI TEMPERATURA.....	51
4.4 IL CONVERTITORE LUMINOSITÀ FREQUENZA	53
5. REALIZZAZIONE DEL PROTOTIPO: "BLUELAMP".	56
5.1 INTRODUZIONE.....	56
5.2 PARTE DI POTENZA.	56
5.2.1 Osservazioni.....	56
5.2.2 Soluzione Circuitale.....	57
5.2.3 Dimensionamento Termico	60
5.2.4 Considerazioni sul Layout.	61
5.3 PARTE DI SEGNALE.	62
5.3.1 Soluzione circuitale.....	62
5.3.2 Considerazioni sul Layout.	64
5.4 PARTE LED SUPERLUMINOSI.	65
5.4.1 Caratteristiche	65
5.4.2 Dimensionamento Termico	66

5.4.3 Montaggio.....	68
6. DESCRIZIONE DEL FIRMWARE REALIZZATO PER BLUELAMP.....	69
6.1 INIZIALIZZAZIONI.....	69
6.2 LETTURA DALLA EEPROM DELLA MODALITÀ DI FUNZIONAMENTO E DELL'INTENSITÀ LUMINOSA.....	72
6.3 INTERFACCIA UTENTE ALL'ACCENSIONE DEL DISPOSITIVO.....	73
6.3.1 <i>Procedura Message</i>	74
6.4 CICLO D'ATTESA PRINCIPALE DEL PROGRAMMA.....	74
6.5 ROUTINE D'INTERRUPT CHE MEMORIZZA IL DATO DA TASTIERA.....	74
6.6 PROCEDURA DI INTERPRETAZIONE DEL DATO.....	76
6.7 PROCEDURA D'AGGIORNAMENTO DELLA LUMINOSITÀ DEI LED.....	77
6.8 ROUTINE DI INTERRUPT CHE ACQUISISCE I FRONTI DI UN ONDA QUADRA.....	78
6.9 PROCEDURA DI ALLARME CHE ATTIVA LA SIRENA.....	80
6.10 SPEGNIMENTO DEL DISPOSITIVO.....	81
6.10.1 <i>Scrittura in EEprom della modalità e dell'intensità luminosa</i>	81
6.11 AUTOPROGRAMMAZIONE DEL MICROCONTROLLORE.....	82
6.11.1 <i>Strategia utilizzata per il BootLoader</i>	83
6.11.2 <i>BootLoader Hardware</i>	84
6.11.3 <i>BootLoader Software</i>	84
7. STUDIO E PROGETTAZIONE DEL DISPOSITIVO CON FONTE LUMINOSA TRADIZIONALE.....	86
7.1 PREMESSA.....	86
7.2 SOLUZIONE PER IL CONTROLLO REMOTO DI UNA LAMPADA ALOGENA.....	87
7.2.1 <i>Riconoscimento dello Zero-Crossing della tensione di rete</i>	88
7.2.2 <i>Circuito di pilotaggio del triac</i>	90
7.2.3 <i>Lampada alogena utilizzata</i>	92
7.2.4 <i>Modifiche al firmware realizzato per la soluzione a lampada alogena</i>	93
7.3 SOLUZIONE PER IL CONTROLLO REMOTO DI UN TUBO FLUORESCENTE.....	96
7.3.1 <i>Soluzione Circuitale</i>	97
7.3.2 <i>Modifiche al Firmware</i>	99
CONCLUSIONI.....	100
ELENCO DELLE FIGURE.....	102
APPENDICE A : LE FOTO.....	106
APPENDICE B: IL LISTATO SOFTWARE.....	111
RINGRAZIAMENTI.....	132

Introduzione

Il dispositivo realizzato in questa tesi s' inserisce in quella gamma di prodotti che, se da una parte fungono come ausili per portatori di handicap e persone anziane, dall'altra si propongono come sistemi per il miglioramento della qualità di vita delle persone normalmente abili.

Negli ultimi anni, infatti, si è sempre più sentito parlare di domotica, di Casa Intelligente e dispositivi intelligenti; l'obiettivo di questa tesi è proprio quello di studiare un sistema con cui dare "intelligenza" ai vari punti luce di una casa automatizzata.

Considerato altresì che la necessità d'illuminazione a controllo remoto non si esaurisce nell'ambito domestico, si capisce come il dispositivo di questa tesi, con le opportune modifiche nei vari casi, possa essere utile anche in campi quali illuminazione commerciale, industriale, ambientale....

In ogni modo, si è fatto riferimento principalmente ad un dispositivo da utilizzare in ambiente domestico che s'inserisse in un impianto elettrico pre-esistente senza doverne modificare il cablaggio.

Nel primo capitolo si andrà a verificare lo stato dell'arte dei dispositivi d'illuminazione a controllo remoto, andando a stilare quelle che saranno le specifiche del nostro progetto. Definite le specifiche del nostro sistema, queste saranno validate logicamente attraverso una simulazione¹.

Nel secondo capitolo illustreremo il link wireless del dispositivo. Innanzi tutto si motiverà la scelta del Bluetooth come un'effettiva esigenza di progetto (e non come semplice moda del momento), saranno poi prese in considerazioni varie possibili soluzioni ed infine sarà descritta quella adottata, ottenuta attraverso un sistema di sviluppo per Bluetooth².

Nel terzo capitolo si effettuerà uno studio comparativo delle possibili fonti luminose per il nostro dispositivo (facendo riferimento, in particolar modo, all'illuminazione domestica). Sarà affrontato un breve percorso illuminotecnico, sia per giustificare il tipo di scelte effettuate in fase di sintesi, sia per dimostrare la bontà delle ipotesi che ci porteranno a presentare i LED come possibile fonte d'illuminazione generica.

Nel quarto capitolo presenteremo e giustificheremo la scelta dei sensori del nostro sistema, già individuati in fase di definizione delle specifiche: un sensore di presenza, uno di luminosità ed uno di temperatura.

Nel quinto capitolo sarà mostrata la realizzazione del prototipo "BlueLamp": una lampada a LED multifunzionale a controllo remoto Bluetooth. Saranno esposti e commentati prima gli schemi elettrici di tutti i circuiti progettati³, poi i risultati ottenuti dalla fase di Layout⁴. Infine sarà presentato il prototipo vero e proprio.

Nel sesto capitolo s'illustrerà come le funzionalità del dispositivo siano implementate a livello firmware: saranno dettagliatamente illustrate tutte le procedure e le strategie del software⁵.

Nel settimo ed ultimo capitolo saranno presentate due soluzioni alternative per rendere il dispositivo atto a funzionare anche con fonti luminose tradizionali, quali una lampada alogena e un tubo fluorescente; saranno altresì mostrate, in entrambi i casi, le modifiche effettuate sia all'hardware sia al software.

¹ Sarà utilizzato a questo fine lo strumento di programmazione grafica LabVIEW di National Instruments.

² "Casira Development Kit" della Cambridge Silicon Radio (CSR).

³ A questo proposito è stato utilizzato il software di progettazione OrCAD Capture 9.1 di Cadence.

⁴ Per la parte relativa al Layout si è utilizzato il software OrCAD Layout Plus, della stessa suite di lavoro del precedente Capture.

⁵ Realizzato in Assembler con AVRStudio 4.0 e testato con la demoboard STK500 di Atmel Corporation.

1. Stato dell'arte e studio di fattibilità

I dispositivi in commercio che si occupano del controllo remoto dei sistemi d'illuminazione in ambito domestico sono spesso di natura elettro-meccanica, di bassa complessità e in molti casi neanche troppo economici.

Analizzando i prodotti di varie aziende italiane leader in questo mercato come bTicino, Fapi, Beghelli si sono incontrati dispositivi quali varialuce a spina con potenziometro o telecomando, lampade con sensori di presenza di vario tipo per lo spegnimento in assenza di utilizzatori, fonti luminose con fotocellula per lo spegnimento/accensione rispetto al livello di luce presente nella stanza.

Questi oggetti ad un utilizzatore più esigente si rivelano poco flessibili, con bassissima possibilità di effettuare settaggi e personalizzazioni al variare delle esigenze.

Non solo, spesso hanno degli assorbimenti a vuoto che li rendono poco efficienti dal punto di vista dei consumi di energia elettrica e, visto che sono perennemente inseriti, anche assorbimenti di pochi watt possono risultare una spesa eccessiva rispetto ai benefici apportati.

Nello studio di fattibilità ci si è reso subito conto di alcune specifiche che sarebbero state indispensabili:

- Utilizzare un sistema a microprocessore per dare al sistema flessibilità, integrabilità, e facilità sia di personalizzazioni sia di upgrade.
- Dotare il sistema di un'interfaccia a controllo remoto senza fili (dispositivo wireless), sia per una questione di facilità di installazione, di utilizzo e di ingombro e sia per consentirne il pilotaggio da qualsiasi punto mobile all'interno dall'ambiente di utilizzo.
- Prevedere la possibilità per il dispositivo di interfacciarsi con altri punti luce o dispositivi intelligenti presenti nell'ambiente di utilizzo (integrabilità con altri dispositivi domotici).
- Integrare nello stesso oggetto tutte le funzionalità che i dispositivi in commercio offrono separatamente: controllo remoto, rilevazione (possibilmente accurata) della luminosità e della presenza (adottando strategie per le false rivelazioni), accensione/spegnimento automatico rispetto ai livelli di luce e presenza, e allo stesso tempo prevedere la possibilità di un pilotaggio diretto che ignori tutte queste informazioni.
- Prevedere un meccanismo per la regolazione dell'intensità luminosa (dimmer) della fonte luminosa sia per l'esigenza di ottenere un ambiente sempre confortevole sia per limitare gli sprechi di energia elettrica.
- Offrire un'interfaccia semplice e diretta per il pilotaggio e il monitoraggio dei parametri del dispositivo, e nel caso di utilizzo come ausilio per disabili o anziani prevedere un funzionamento automatico che non richieda nessun intervento da parte dell'utilizzatore.
- Progettare il sistema con specifiche restrittive per quanto riguarda i consumi energetici, l'efficienza e le dimensioni facendo riferimento per ogni possibile soluzione al rapporto costo/benefici.

1.1 Definizioni delle specifiche del sistema e validazione attraverso l'ambiente LabVIEW

Al fine di concretizzare le specifiche di funzionamento del nostro dispositivo e della sua interfaccia di controllo, è stato ritenuto opportuno costruire due VI (Virtual Instrument) col noto software di programmazione grafica LabVIEW (5.1), che ne simulassero il comportamento: Interfaccia e Dispositivo.

1.1.1 L'interfaccia grafica PC

La prima VI (Interfaccia) simula l'interfaccia di pilotaggio del nostro sistema remoto e sarà essa stessa l'interfaccia grafica del nostro prototipo finale; la seconda VI (Dispositivo) simula il nostro sistema a microprocessore a bordo della lampada.

In queste due VI si sintetizza tutto il funzionamento logico del nostro sistema in modo davvero intuitivo e senza dover ricorrere a più noiosi schemi a blocco

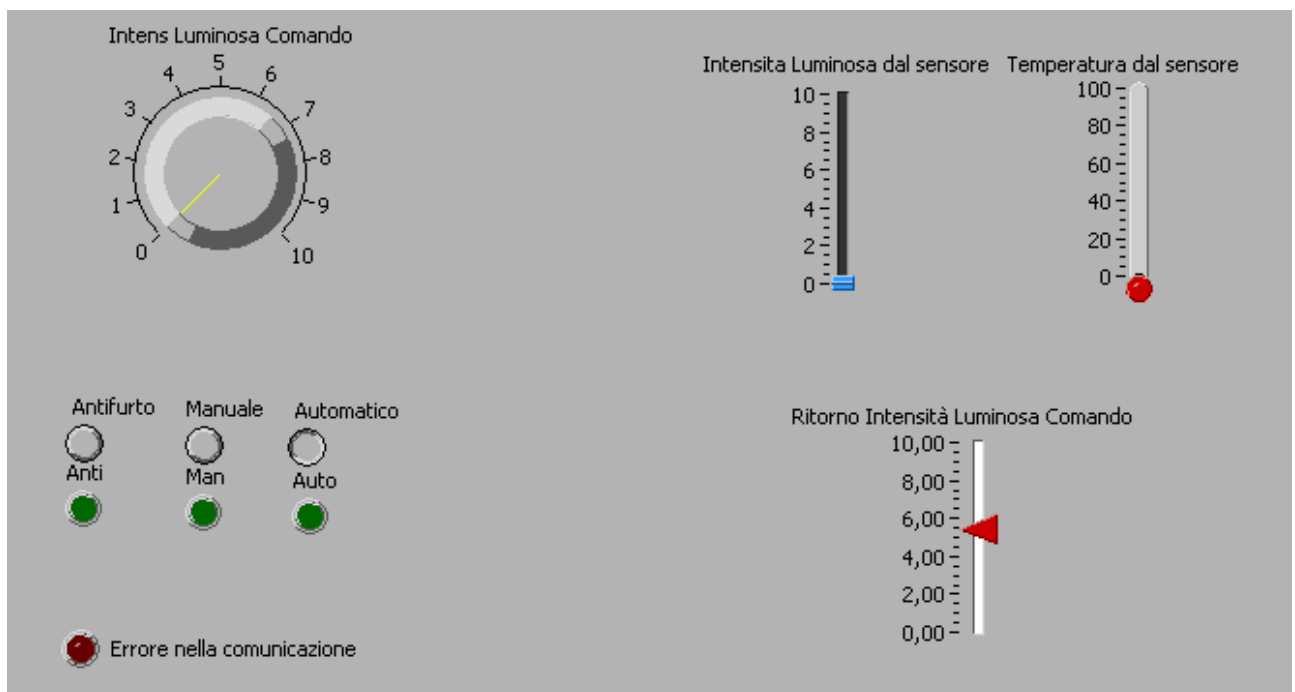


Figura 1.1 Pannello di indicazione e controllo della VI "Interfaccia.vi"

Nella prima VI Interfaccia appare subito evidente la manopola dedicata al dimmer della nostra fonte luminosa, che è possibile “girare” con l’aiuto del mouse, e verificare che effettivamente la luce aumenta e diminuisce col variare della posizione della manopola.

Sotto la manopola vi compaiono i pulsanti selezionatori della modalità di funzionamento del dispositivo.

Sono state previste tre modalità di funzionamento: manuale, automatica e antifurto.

Sotto ogni pulsante si ha il led che indica se quel pulsante è premuto oppure no; i led aiutano a capire quale dei tre tasti sia effettivamente premuto e aiutano a verificare che sia attiva solo una modalità alla volta (le tre modalità devono essere, ovviamente, mutuamente esclusive).

Compaiono poi più a destra gli indicatori dei nostri sensori a bordo del sistema: il sensore di temperatura ambientale e il sensore di luminosità.

1.1.2 La VI del Dispositivo.

Nella seconda VI Dispositivo si mostrano i parametri fondamentali del nostro sistema a bordo del portalampada.

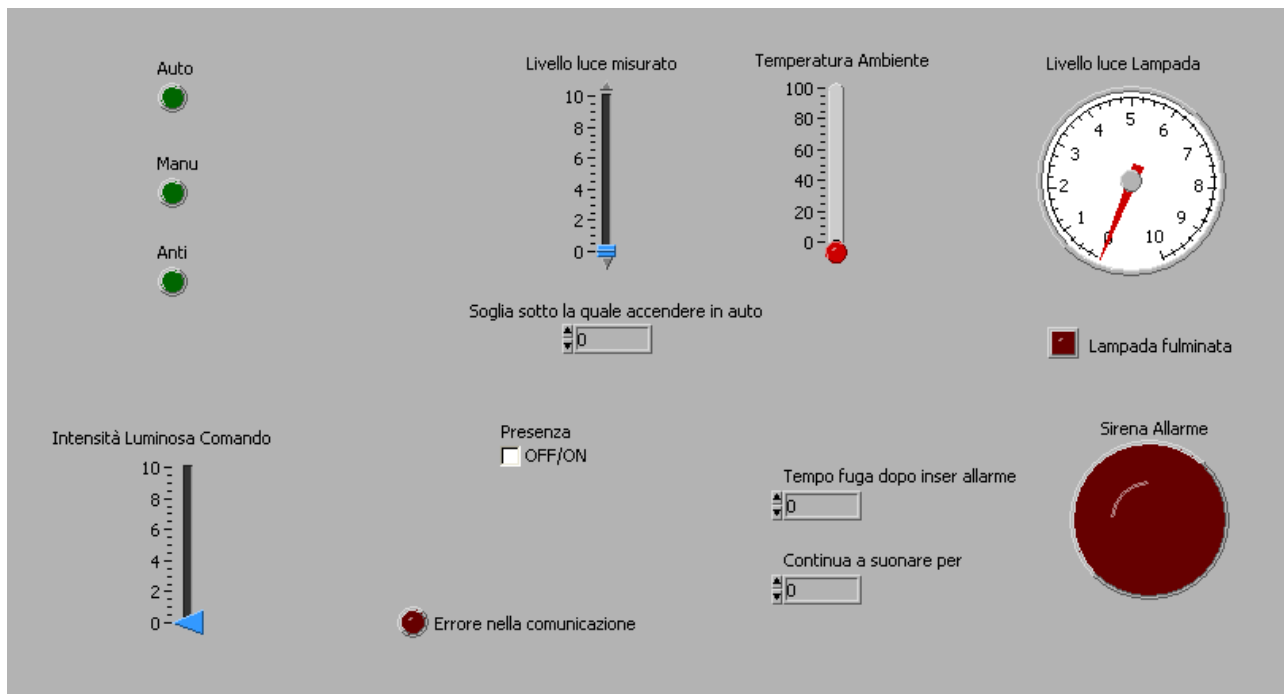


Figura 1.2 Pannello di indicazione e controllo del dispositivo.

A sinistra sono visibili i led che ci rendono esplicita quale sia l'attuale modalità di funzionamento.

Al centro vi sono i controlli per la temperatura e per il livello di luce misurato nell'ambiente: su questi controlli è possibile agire con il mouse attraverso lo slittamento del relativo cursore.

Più in basso è possibile simulare la presenza di un utente con il check dell'indicatore presenza

Come visibile nel centro pannello è possibile impostare il valore di intensità luminosa sotto la quale la luce si accenderà, se contemporaneamente sarà rilevata presenza, nel caso di funzionamento in modalità automatica.

Il grosso led sotto a destra indica una sirena che inizierà a lampeggiare nel caso attiviamo la modalità antifurto e il nostro sensore di presenza rilevi l'occupazione della stanza da parte di un intruso.

Accanto alla sirena è possibile impostare sia il tempo di fuga che decidiamo di imporci dal momento dell'inserimento dell'allarme sia il tempo di durata dell'allarme una volta innescato.

L'indicatore lampada fulminata si accende nel caso il sistema verifichi poca luce nonostante s'imponga un adeguato pilotaggio della lampada.

L'indicatore errore di comunicazione ci avverte se vi è stato un errore nella ricezione di un dato sul collegamento seriale.

1.1.3 Comunicazione tra le VI, ovvero tra l'interfaccia PC e il dispositivo su portalamпада.

Vediamo ora come si comporta dinamicamente il nostro sistema complessivo Interfaccia Pc e Dispositivo Remoto.

Per esempio, consideriamo che il dispositivo sia stato spento in modalità manuale con livello di luce 100.

Immaginiamo che il pc sia acceso e che l'applicazione interfaccia stia girando.

Appena accendiamo il dispositivo, ciò possiamo simularlo col lancio della VI , questo prende da una sua memoria interna sia il valore dell'intensità luminosa impostato prima dello spegnimento sia il dato che le indica in che modalità di funzionamento deve portarsi e li comunica all'interfaccia PC che di conseguenza si setta con questi valori.

Ora il comando passa all'interfaccia che a seconda della volontà dell'utente può variare la luminosità della lampada, passare ad altra modalità di funzionamento o semplicemente rispegnere; in quest'ultimo caso sarà cura del dispositivo memorizzare la modalità di funzionamento e il livello di luminosità prima di portarsi in standby.

A dispositivo acceso i valori di temperatura e di livello luminoso sono comunicati dal dispositivo all'interfaccia PC quando variano di una certa soglia, che sarà decisa in sede di sviluppo del firmware del microcontrollore.

Il dispositivo quando è in modalità manuale può essere “dimmerato” dalla nostra interfaccia indipendentemente dalla presenza dell'utente e dal livello d'intensità luminosa registrato nell'ambiente; nel caso di modalità automatica si accende ad un valore prefissato e settabile se rileva contemporaneamente presenza e basso livello di luce. Nel caso una di queste ipotesi venga meno la fonte luminosa risulterebbe inutile e fonte di sprechi quindi il sistema si porta in modalità di standby spegnendo la luce.

Nel caso si voglia usare il dispositivo come allarme questo è possibile grazie al suo sensore di presenza a bordo. Settando la modalità antifurto e avendo cura di uscire dalla stanza nel tempo di fuga preimpostato, il sistema, nel caso qualche malintenzionato si introduca nella stanza, attiverà una sirena.

Tutte le funzionalità fin qui descritte possono essere facilmente verificate per ispezione diretta del comportamento grafico delle due VI realizzate.

1.1.4 Collegamento Hardware: dal cavo seriale al link Bluetooth

Come già accennato la nostra interfaccia grafica residente su PC comunica con il sistema remoto attraverso un collegamento seriale: il pc manda e riceve dati attraverso la classica porta seriale regolata dallo standard RS232 mentre il sistema a microprocessore acquisisce e trasmette attraverso la UART.

Bisogna sottolineare che, nonostante la crescita di alternative sempre più efficaci allo standard RS232 quali ethernet e Usb, per il momento la soluzione RS232 sembra essere ancora l'unica a poter offrire allo stesso tempo robustezza, facilità d'uso e bassi costi.

Il collegamento tra le due VI è stato completato con un semplice cavo seriale che cortocircuitasse le due porte COM del PC, visto che la prima VI inviava/riceveva sulla porta COM1 e la seconda inviava/riceveva su COM2.

Ecco l'inconveniente principale dello standard RS232: la necessità di un cavo !.

La scelta del Bluetooth ci servirà proprio ad eliminare questo cavo, senza dover fare a meno di tutti i pregi hardware e software dello standard seriale RS232.

2 Il link Bluetooth

2.1 Motivazioni della scelta Bluetooth

La scelta del collegamento Bluetooth è di fondamentale importanza, non solo per le caratteristiche che offre al nostro sistema, ma soprattutto in funzione del fatto che il sistema realizzato non è mai stato visto come “stand alone” ma come una parte integrante di un sistema più ampio e complesso. Grazie alle possibilità offerte dal Bluetooth non è difficile immaginare dispositivi domotici che comunicano tra loro e che lavorano in sincronia scambiandosi dati .

Ma quali sono queste possibilità offerte dal Bluetooth?

Innanzitutto la possibilità di creare reti wireless di dispositivi, meglio chiamate in gergo bluetooth, “piconet”; inoltre queste “piconet” possono essere a loro volta connesse tra loro a formare reti di reti, ovvero quelle che in gergo bluetooth sono definite “scatternet”.

In figura 2.1.a è rappresentata una connessione Bluetooth punto - punto (piconet) tra un dispositivo master ed uno slave; in figura 2.1.b si mostra una connessione punto – multipunto (piconet); in figura 2.1.c, si può apprezzare una caratteristica topologica esclusiva dello standard bluetooth. Questa caratteristica lo rende unico tra tutti i protocolli di gestione delle reti wireless; vi è la possibilità di creare una “scatternet”, ovvero uno stesso dispositivo può essere il master di una rete e lo slave di un'altra (figura 2.1.c'), oppure fungere da slave di due reti diverse (figura 2.1.c''). Questa strategia permette di ottenere teoricamente reti composte fino a 80 dispositivi.....

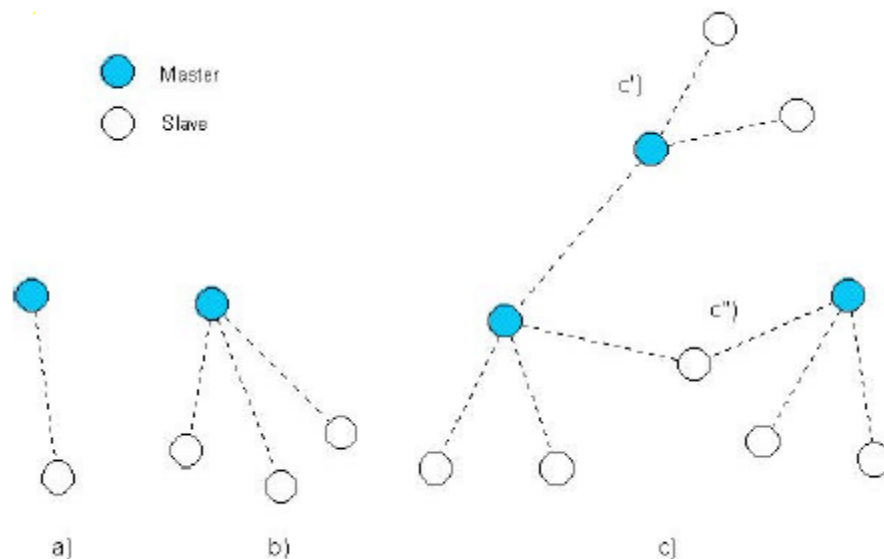


Figura 2.1 Topologia delle reti Bluetooth

E' proprio questo aspetto che fa del Bluetooth una scelta decisiva sia nell'ambito della domotica in generale che in quello degli ausili per disabili o persone anziane: il servizio offerto all'utente da una sinergia di dispositivi è ovviamente molto maggiore di quello offerto da singoli dispositivi a se stanti.

Inoltre il collegamento Bluetooth offre rispetto a soluzioni più mature quali quelle a raggi infrarossi (IrDA), a radiofrequenza (433 o 868 MHz) o a onde convogliate tutta una serie di vantaggi quali:

➤ **robustezza del collegamento e sicurezza** dei dati: grazie al sistema di trasmissione FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) la connessione risulta

particolarmente robusta anche a distanze ben superiori di quelle offerte dal collegamento seriale con filo. Le collisioni con altri dispositivi sono piuttosto improbabili, così come l'eventualità di essere intercettati da terzi. A questo riguardo, inoltre, lo standard offre garanzie ben maggiori rispetto alle tecnologie su menzionate, grazie a particolari protocolli per l'autenticazione e l'eventuale criptaggio della connessione a 128 bit, che aumentano il livello di sicurezza ottenibile.

- **bassi consumi** di energia: con una alimentazione della sezione Bluetooth a 1.8 V e un assorbimento di 20 mA, si ottiene un consumo di poche decine di mW.
- **dimensioni ridottissime**, si tratta di un circuito delle dimensioni di una moneta da 1 euro.
- banda di frequenza di libero utilizzo.
- possibilità di **interazione** con tutti i dispositivi elettronici di ultima generazione quali cellulari, pc, portatili, palmari...

Viste le alte prestazioni e la discesa sempre più veloce dei costi, questa tecnologia si propone anche come una delle possibili soluzioni vincenti all'interno della diaspora dei protocolli nel mondo della domotica (ad oggi ne esistono almeno una ventina).

Gli alti costi della tecnologia attuale sono infatti dovuti più a scelte di carattere commerciale che a effettivi costi di produzione, viste le modeste occupazioni di silicio e la circuitistica hardware non particolarmente complessa; non si dovrebbe tardare molto, quindi, a vedere componenti a basso costo per il mercato consumer .

2.2 Soluzioni per il collegamento Bluetooth

Il sistema di sviluppo usato nel laboratorio del nostro dipartimento per la progettazione Bluetooth è il Casira Development kit prodotto da CSR.

In figura si evidenzia il modulino Bluetooth [A] con a bordo il Bluecore-02 utilizzato nel lavoro di questa tesi.

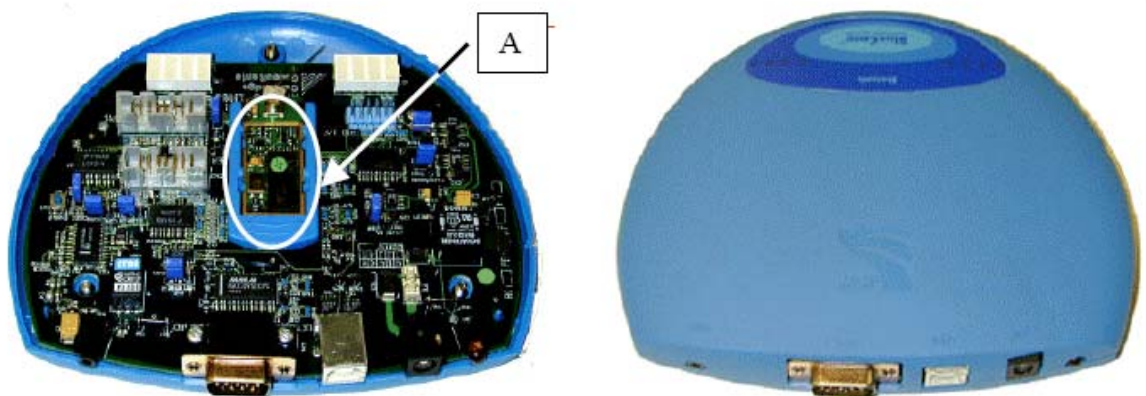


Figura 2.2 Il kit di sviluppo Bluetooth CASIRA di CSR

Per lo sviluppo hardware/software della sezione Bluetooth sono state valutate tre diverse soluzioni: la prima sfrutta un Example Design del Bluecore-02 reperito sul sito di

CSR, la seconda utilizza il software e l'hardware del Casira stesso, la terza si avvale di moduli plug and play per il collegamento seriale.

Partiamo dalla soluzione proposta nell'example design del BlueCore2⁶.

2.2.1 BlueCore RS232 Cable Replacement Example Design

Questa soluzione ci offre gli schemi elettrici, la lista dei componenti e tutte le informazioni necessarie per costruirci un "Dongle" Bluetooth che implementi la funzionalità di rimpiazzo cavo RS232, ovviamente utilizzando il microprocessore Bluecore2-External prodotto dalla stessa CSR..

Il firmware dell'Example Design viene venduto nel pacchetto di sviluppo Casira; risulta quindi immediatamente disponibile per i nostri fini.

Il chip BlueCore2-External sembra essere la soluzione naturale al nostro problema. Esso unisce la circuiteria a RF (Radio Frequenza) e quella in banda base su un singolo chip, riducendo al minimo il numero di componenti esterni. Le specifiche del Bluetooth sono rispettate con larghi margini sia per quanto riguarda la potenza radio in uscita che la sensibilità del circuito in ricezione, permettendo così l'utilizzo di componenti esterni economici senza ridurre le prestazioni del sistema.

Il processore interno ad architettura RISC può essere programmato ed è abbastanza potente da far girare l'emulazione della porta seriale senza richiede l'ausilio di un processore esterno (host processor) come spesso accade in altre applicazioni Bluetooth.

Il progetto ci indica in dettaglio come il BlueCore2-External possa essere la base per un sistema che sostituisca un collegamento filare RS232 senza peraltro apportare la benché minima modifica all'architettura del sistema in cui va ad eliminare il filo.

La parte relativa al PCB (Printed Circuit Board) è deliberatamente lasciata al progettista per consentirgli la massima flessibilità in termini di forma geometrica.

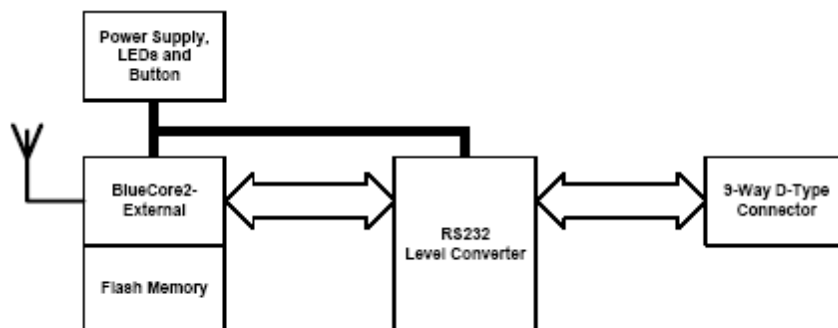


Figura 2.3 Schema a blocchi dell'hardware dell'Example Design

Serial Port Profile

CSR's Rs232 Cable Replacement Software è una implementazione del profilo Bluetooth Serial Port (SPP), che può essere trovato nelle specifiche dei profili Bluetooth v1.1 alla sezione K5.

Il profilo SPP, come tutti gli altri profili, fonda le sue radici sul Generic Acces Profile, nel quale vengono definite le procedure per il riconoscimento (inquiry), l'interrogazione (Discovery e Bonding) e la gestione dei dispositivi attivi (Link, Channel, Connection establishment)

⁶ "RS232 Cable Replacement, Example Design for BlueCore2-External", May 2003, reperibile su www.csr.com

Il profilo SPP (Serial Port Profile) definisce i requisiti necessari affinché i dispositivi Bluetooth possano configurare un servizio di emulazione di cavo seriale usando un protocollo RFCOMM.

On Chip software

Il Bluecore2-External contiene un microcontrollore RISC a 16 bit sul quale gira lo stack del protocollo Bluetooth.

CSR ha implementato, su questo microcontrollore RISC una “virtual machine” (VM) che funge da interprete, permettendo alle applicazioni di “girare” senza influire negativamente sui layer sottostanti dello stack Bluetooth.

CSR’s BlueLab Software Development Kit (SDK) contiene i tools per compilare e “debuggare” le applicazioni residenti sulla VM; contiene inoltre il codice sorgente per le applicazioni di emulazione della porta seriale, codice che può essere modificato a seconda delle esigenze.

Precisiamo che l’applicazione di rimpiazzo cavi RS232 che gira sulla VM è basata su un firmware RFCOMM pre-qualificato.

Questo ci permette di ottenere una soluzione già conforme alla specifica Bluetooth, riducendo tempi e costi a nostro carico per la qualificazione.

Soluzioni per tutti i tipi di link seriali

L’example design propone soluzioni sia per il link DTE-DTE che DTE-DCE:

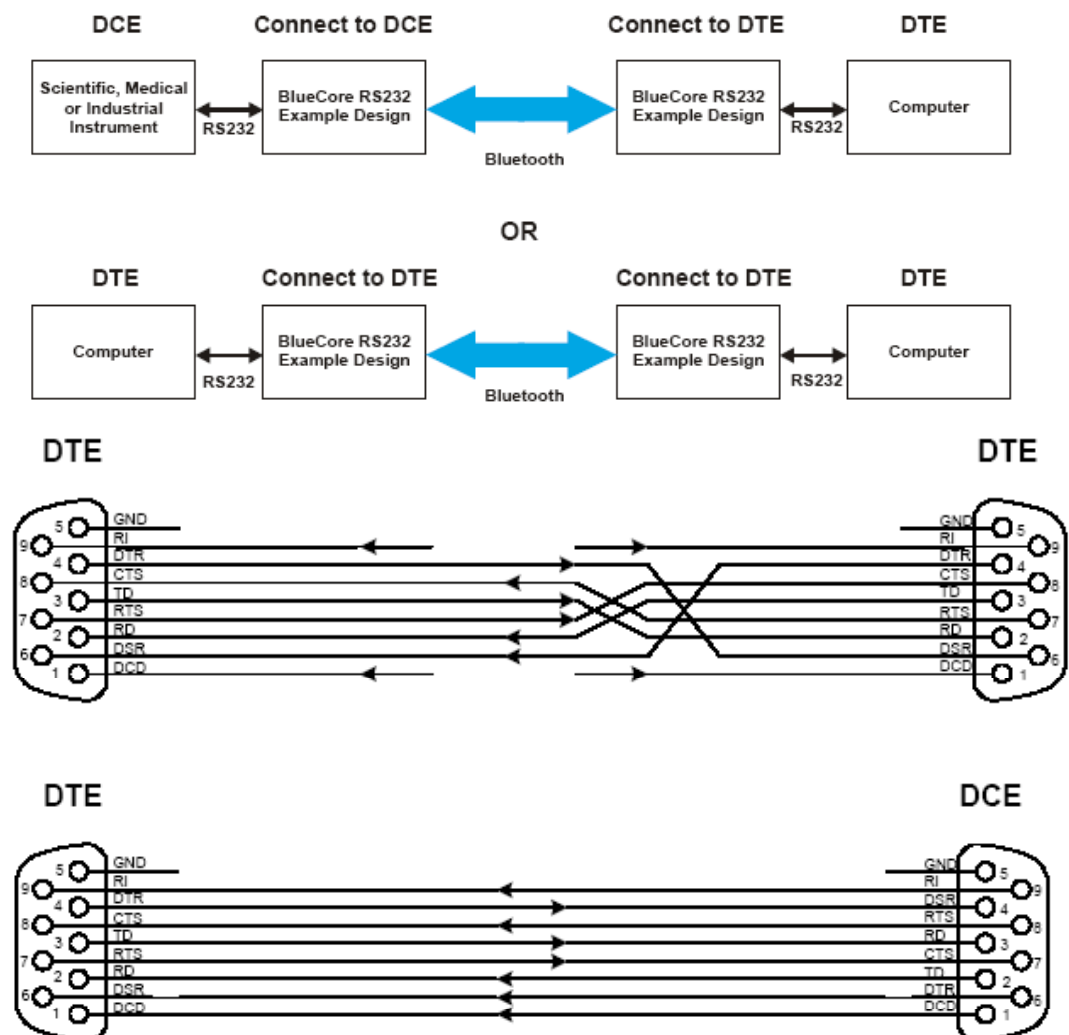


Figura 2.4 Possibili Tipologie di connessioni seriali dell’Example Design

Contenuti dell'Example design

Nel caso si intenda procedere alla costruzione hardware, il prodotto dovrebbe apparire all'incirca così:

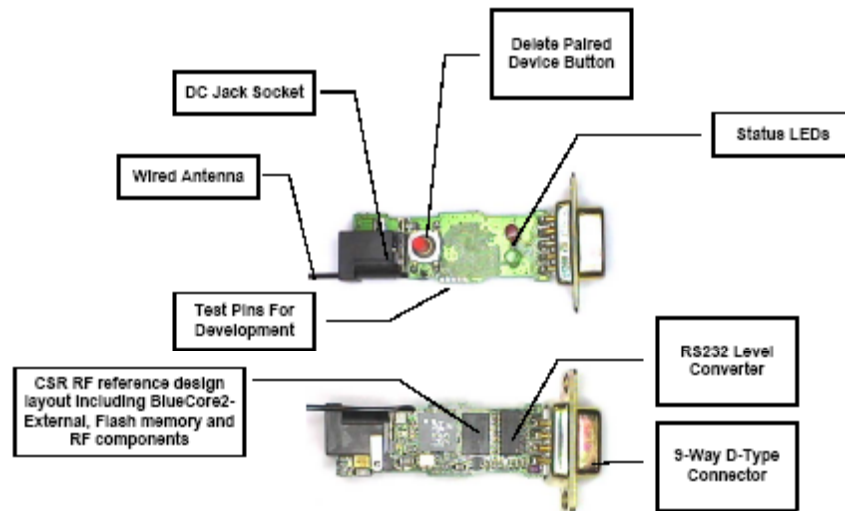


Figura 2.5 Dongle Bluetooth per il collegamento seriale, costruito secondo l'Example Design

Per la descrizione dettagliata dei circuiti si rimanda al cap.2 dell'example design.

Prestazioni dell'example design RS232 Cable Replacement

Il massimo throughput dell'example design è limitato dal convertitore di livelli RS232 (U5), che consente di arrivare ad un massimo di 115Kbps, il che vuol dire una data rate approssimativo di 10KB/s .

Se necessario può essere migliorato con l'utilizzo del MAX3245 invece dell'U5, componente sì più veloce (consente di arrivare a 20KB/s), ma anche decisamente più costoso.

Il baud rate del collegamento viene stabilito attraverso un parametro (PSKEY) residente sulla flash del Bluecore2.

Download del firmware

Vediamo i passi necessari per programmare la flash dei due moduli Bluetooth con a bordo il Bluecore2: questa stessa procedura viene seguita anche per programmare i moduli (figura 2.2 A) del CASIRA.

Abbiamo già affermato che sia lo stack del protocollo Bluetooth sia il profilo dell'applicazione girano sullo stesso chip BlueCore2-External.

In realtà il firmware relativo viene venduto insieme a BlueLab SDK come codice sorgente.

Questo significa che necessita di essere compilato in un file binario prima di poter essere messo su flash; la compilazione viene effettuata senza problemi nello stesso ambiente BlueLab.

Dopo aver provveduto a connettere, con un cavo per interfaccia SPI, una porta parallela del nostro PC con il nostro dispositivo Bluetooth, siamo pronti per caricare il firmware sulla flash.

Sia il firmware appena compilato che i settaggi standard vengono caricati sulla flash attraverso programmazione via SPI con un tool specifico fornito da CSR: BlueFlash.

Innanzitutto diamo lo stop al microprocessore. Selezioniamo poi per uno dei due dispositivi il file spp_master_merge.xpv e per l'altro spp_slave_merge.xpv : la programmazione è quasi istantanea.

Facciamo notare che, nonostante il collegamento seriale non preveda che un terminale possa essere privilegiato rispetto ad un altro, nel mondo Bluetooth si deve sempre e comunque chiarire chi sta fungendo da master e chi da slave, anche se ai fini dell'applicazione chi sia il master o lo slave non comporti nessun differenza.

La flash è altresì utilizzata per memorizzare dei settaggi in una zona chiamata Persistente Storce.

I seguenti settaggi standard sono essenziali al funzionamento dell'RS232 Cable Replacement Example Design:

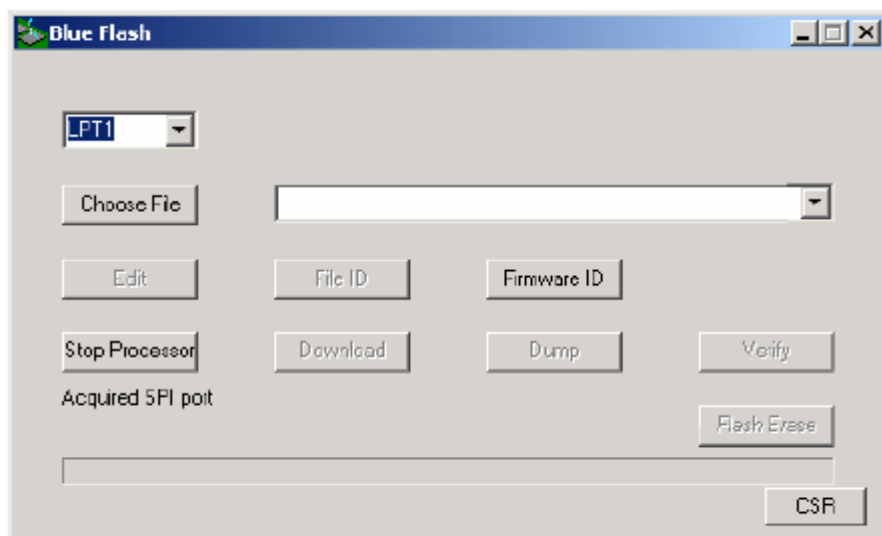


Figura 2.6 BlueFlash Dialog Box

Persistent Store Key	ID (Decimal)	Setting
Host Interface	505	VM access to the UART
UART Configuration Bitfield	516	168 (Decimal)
Access to PIO pins bitmap	514	0
TX and RX PIO control	521	PIO does not drive TX+RX, internal amp ramps power
UART baud rate	516	115Kbps
Enable host query task	508	False

Figura 2.7 Persistente Storce Settings

L'applicazione PStool fornita con BlueLab SDK permette di settare (ma anche di modificare successivamente) i valori della Persistent Store.

Conclusioni sull'RS232 Cable Replacement Example Design.

L'Example design rappresenta certo una soluzione molto interessante.

Sia perché ci offre il firmware già preconfezionato da scaricare sul Bluecore2, evitandoci di dover entrare nel merito della programmazione Bluetooth, sia perché offre una soluzione hardware già dimensionata e pronta per l'uso; a noi non resterebbe che costruire il PCB secondo le nostre esigenze, ordinare e montare i componenti che ci vengono indicati nella sezione "Bill of Material", e scaricare sulla flash il firmware necessario.

2.2.2 Soluzione adottata: collegamento fra i moduli Casira.

Nell'ottica di una produzione di massa l'Example Design appena descritto rappresenterebbe una soluzione efficace ed economica per una qualsiasi azienda.

In realtà la soluzione hardware proposta sarebbe troppo difficile da realizzare in laboratorio: i componenti sono troppo piccoli e servirebbero strumenti per la saldatura che non sono propri di un laboratorio universitario.

Si è così deciso di adoperare la schedina già pronta che usa il Casira e che CSR vende a prezzi modici per i possessori del sistema di sviluppo.

Tutte le funzioni relative alla sezione Bluetooth sono svolte dal modulino che in figura 2.2 avevamo contrassegnato con A; nonostante questo modulino potesse essere montato con la sua clip sul PCB del nostro prototipo (il modulino necessita solo di due alimentazioni regolate a 3.15 V e nient'altro) per questioni di praticità si è comunque deciso di lasciare il modulino montato sul Casira stesso, visto che il portarlo sul nostro PCB non avrebbe aggiunto nulla di sostanziale al prototipo.

2.2.3 Soluzioni Hardware plug and play: adattatori seriali Bluetooth.

Per completezza si è deciso di presentare comunque i possibili adattatori con i quali risolvere il collegamento Bluetooth senza l'ausilio del sistema di sviluppo Casira.

In commercio esistono molti accessori "plug and play" per il collegamento seriale via Bluetooth. Questi rappresentano una soluzione semplice ed efficace.

Il progettista viene esonerato dal crearsi dell'hardware e del software dedicato per la sezione Bluetooth: si riesce così ad ottenere, a costi non troppo alti, un'interfaccia Bluetooth per il proprio sistema senza dovervi investire tempo e risorse preziose.

Inoltre, questo tipo di adattatori, ben si prestano ad essere inseriti in sistemi già progettati e collaudati al solo scopo di aggiungervi le funzionalità offerte dall'interfaccia wireless Bluetooth.

Quasi tutte le maggiori aziende produttrici di accessori Bluetooth propongono il loro "Serial Adapter". Abbiamo già affermato che il motivo principale per cui il Bluetooth nasce è proprio il voler supplire all'eccessivo uso di cavi nei dispositivi elettronici portatili (cellulari, notebook, palmari...) di ultima generazione.

Allo stesso tempo l'eliminazione dei cavi è un aspetto che si rileva utile anche al di fuori di questo campo: nei laboratori, negli uffici, negli ospedali e in molte postazioni industriali si ha a che fare con una sempre crescente quantità di fili che si rilevano scomodi da maneggiare, antiestetici e ingombranti.

Ecco allora che la soluzione Bluetooth diventa interessante anche al di fuori del suo campo di origine: non solo periferiche (tastiere, mouse, stampanti...) per pc, link wireless per palmari e notebook o auricolari per cellulari, ma anche link wireless per apparecchiature mediche e scientifiche, e ancora più in generale link di trasmissione a corto raggio di ogni tipo.

Gli adattatori seriali Bluetooth, infatti, eliminano il cavo a prescindere dall'applicazione su cui vengono montati; per il progettista non vi è nessuna modifica da apportare né al software del suo sistema né all'hardware, se non appunto l'acquisto di due di questi adattatori da montare alle due estremità del cavo direttamente sulle prese del cavo che si elimina.

Bisogna subito precisare che questo tipo di oggetto è ancora molto costoso e che per il momento ha senso utilizzarlo solo in quei casi dove il beneficio apportato possa giustificare un acquisto non inferiore ai cento euro.

Vediamo sommariamente le caratteristiche di alcuni di questi prodotti.

Gli adattatori di Brainboxes

Una coppia di adattatori interessanti sono l' "RS232 Bluetooth Adapter" (DTE) e l' "RS232 Bluetooth Converter" (DCE) della Brainboxes distribuiti in Italia da Mobit al prezzo di 250€ l'uno.

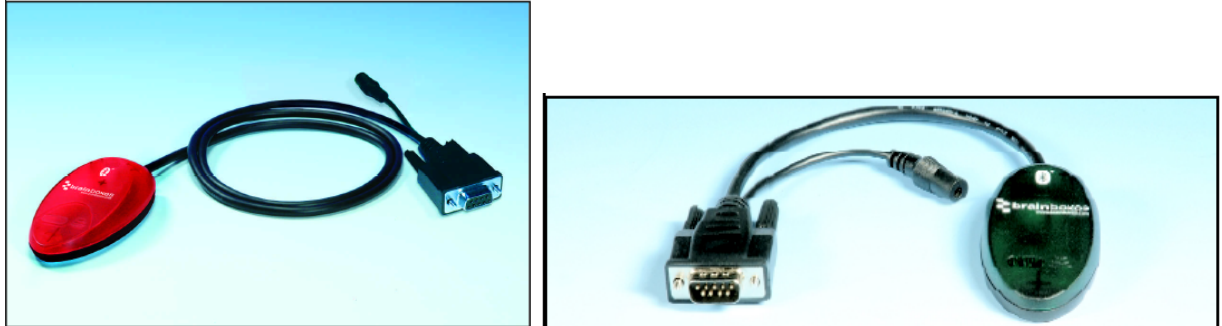


Figura 2.8 RS232 Bluetooth Serial Adapter (a sinistra per DCE, a destra per DTE) di Brainboxes

Il primo (DTE) va collegato al pc ed è compatibile con i sistemi operativi Windows 98, ME, XP; il secondo (DCE) può essere collegato a qualsiasi dispositivo RS232 non richiede né drivers né che il sistema su cui venga montato abbia un sistema operativo.

Questi adattatori hanno l'antenna integrata nel PCB, permettono di stabilire connessioni fino a 115,200 bit/s e consumano qualche centinaio di mW di potenza quando attivi; l'unico inconveniente è che necessitano un alimentatore esterno da 200mA @ 5V.

Permettono quindi, ad un qualsiasi dispositivo con interfaccia RS232, di comunicare con un altro dispositivo Bluetooth senza l'ausilio di software aggiuntivo, rendendolo ideale per quei dispositivi come stampanti, scanner.... Logicamente per stabilire un link wireless vanno accoppiati in base al tipo di connessione: DTE-DTE oppure DTE-DCE.

Si conclude che con due oggetti di 68 g e 3.8cm * 7.8cm è possibile sostituire anche decine di metri di cavo.

Questi dispositivi utilizzano il BlueCore2-External di CSR e implementano l'example design descritto precedentemente. Il prodotto viene venduto insieme ai drivers per Windows XP e ad un piccolo software attraverso il quale è possibile settare i parametri della nostra connessione seriale (bad rate, bit di stop, parità....)

L'adattatore di Adamya.

Un altro adattatore interessante è l'Adamya Serial Adapter di Adamya Technologies Inc.



Product Features	Specifications																		
<ul style="list-style-type: none"> ❑ Plug and Play solution ❑ Supports RS232, RS422 and Direct TTL devices ❑ Based on Bluetooth® wireless technology protocol stack and Serial Port Profile conforming to ver 1.1 ❑ Based on Zeevo TC2001 single chip device ❑ Menu driven (embedded), field configurable UART parameters ❑ Supports speeds upto 723 Kbps (BT throughput limit) ❑ UART speed upto 921.6 Kbps ❑ RTS-CTS flow control. ❑ Operates as either Data Terminal Equipment (DTE) or Data Communication Equipment (DCE) ❑ Secure communication using Authentication and Encryption ❑ Field upgradeable devices (for adding profiles) 	<table> <tr> <td>Standard</td><td>Bluetooth® SIG 1.1 Specifications</td></tr> <tr> <td>Profile</td><td>Serial Port Profile</td></tr> <tr> <td>Baseband and RF</td><td>Zeevo TC2001</td></tr> <tr> <td>RF-Wireless Frequency</td><td>2400 ~ 2483.5 MHz</td></tr> <tr> <td>Transmitter Power</td><td>Power class 2</td></tr> <tr> <td>Bluetooth® wireless Interface</td><td>UART</td></tr> <tr> <td>Power Supply</td><td>3.5-6VDC input (optional)</td></tr> <tr> <td>Range</td><td>Up to 10 meters</td></tr> <tr> <td>Dimensions</td><td>35mm x 30mm</td></tr> </table>	Standard	Bluetooth® SIG 1.1 Specifications	Profile	Serial Port Profile	Baseband and RF	Zeevo TC2001	RF-Wireless Frequency	2400 ~ 2483.5 MHz	Transmitter Power	Power class 2	Bluetooth® wireless Interface	UART	Power Supply	3.5-6VDC input (optional)	Range	Up to 10 meters	Dimensions	35mm x 30mm
Standard	Bluetooth® SIG 1.1 Specifications																		
Profile	Serial Port Profile																		
Baseband and RF	Zeevo TC2001																		
RF-Wireless Frequency	2400 ~ 2483.5 MHz																		
Transmitter Power	Power class 2																		
Bluetooth® wireless Interface	UART																		
Power Supply	3.5-6VDC input (optional)																		
Range	Up to 10 meters																		
Dimensions	35mm x 30mm																		

Figura 2.9 RS232 Bluetooth Serial Adapter di Adamya

L'Adamya Serial Adapter si propone come una soluzione a basso costo, corto raggio (10 metri, dispositivo in classe 2) ed alta velocità per il rimpiazzo del cavo UART/RS232.

Rispetto al convertitore della Brainboxes offre sì la possibilità di un rimpiazzo dei cavi seriali, ma con caratteristiche abbastanza diverse.

Vi è innanzi tutto la possibilità di interfacciarsi sia a dispositivi Rs232 (DTE o DCE) che a dispositivi RS422 e con logica TTL, anche se con modelli del convertitore differenti. La velocità massima di trasmissione arriva fino a 723 Kbps che rappresenta anche il limite teorico del Bluetooth (versione 1.1); la UART può essere spinta fino a 921.6 Kbps e vi è la possibilità di un controllo di flusso RTS-CTS; sia le dimensioni sia i consumi sono come al solito contenutissimi.

I parametri della connessione seriale possono essere settati attraverso un interfaccia grafica seriale come HyperTerminal.

L'offerta ConnectBlue

Il successivo Serial Port Adapter preso in considerazione è quello prodotto dalla ConnectBlue, azienda che per quanto riguarda questo tipo di oggetto propone un'offerta decisamente differenziata e flessibile; è quindi possibile scegliere tra i 10 adattatori offerti quello che più si adatta alla applicazione di interesse ottimizzando costi e tempo di sviluppo.









								
	OEMSPA13I	OEMSPA13x	OEMSPA33I	OEMSPA33x	SPA12I	SPA32I	SPA33I/SPA33c	RSPA32s
Output power	0 dBm (10-30m)	0 dBm (10-30m)	20 dBm (>100m)	20 dBm (>100m)	0 dBm (10-30m)	20 dBm (>100m)	20 dBm (>100m)	20 dBm (>100m)
Power connector type	20 pin header or one piece part connector	20 pin header or one piece part connector	20 pin header or one piece part connector	20 pin header or one piece part connector	DC plug 2.1m.m centerpin (-)	DC plug 2.1m.m centerpin (-)	Terminal block	IP65, rugged connector
Power supply	3-6 V	3-6 V	3.3-6 V	3.3-6 V	5 V	5 V	8-30 V	8-30 V
Serial connector	20 pin header or one piece part connector	20 pin header or one piece part connector	20 pin header or one piece part connector	20 pin header or one piece part connector	Male DSUB-9	Male DSUB-9	Terminal block	Male DSUB-9
Serial Interface	Logic-level UART, RS232 Baud rate: 300-921.6k CTS/RTS or none	Logic-level UART, RS232 Baud rate: 300-921.6k CTS/RTS or none	Logic-level UART, RS232 Baud rate: 300-921.6k CTS/RTS or none	Logic-level UART, RS232 Baud rate: 300-921.6k CTS/RTS or none	RS232 Baud rate: 300-921.6k CTS/RTS or none	RS232 Baud rate: 300-921.6k CTS/RTS or none	RS232/422/485 Baud rate: 300-921.6k CTS/RTS or none	RS232/422/485 Baud rate: 300-921.6k CTS/RTS or none
Antenna	Internal	Stub or on a cable	Internal	Stub or on a cable	Internal	Internal	33i -Internal 33x - Stub or on a cable	Stub
Wireless Multidrop™ - Multipoint	3 slaves	3 slaves	7 slaves	7 slaves	3 slaves	7 slaves	7 slaves	7 slaves
Housing	No housing	No housing	No housing	No housing	Plastic IP20	Plastic IP20	Plastic IP20	Rugged IP65
Bluetooth Qualified	Fully	Fully	Fully	Fully	Fully	Fully	Fully	Fully
Type Approved	Fully	Fully	Fully	Fully	Fully	Fully	Fully	Fully
Dimensions (mm)	23*36*5	23*36*5	40*42*5	40*42*5	63*80,2*25,7	63*80,2*25,7	63*80,2*25,7	75,5*84,6*34,6

Figura 2.10 La vasta offerta di serial adapter di Connect Blue

Non solo, gli adattatori vengono venduti all'interno di un Development Kit e supportano il profilo ECI rendendo possibile utilizzare, controllare e modificare i profili interni Bluetooth.

Questi dispositivi possono essere configurati sia attraverso una interfaccia grafica da PC che attraverso il lancio di comandi AT.

La caratteristica "Multidrop – Multipoint" permette loro di sfruttare a pieno le potenzialità del Bluetooth; ognuno di questi adattatori può gestire una rete fino a sette elementi (limite teorico della specifica Bluetooth), cosa non sempre garantita in altri adattatori

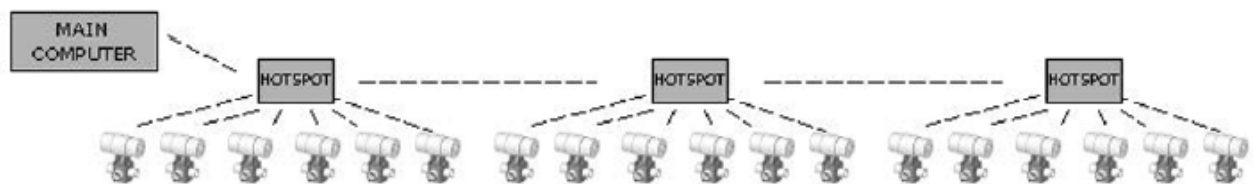


Figura 2.11 Predisposizione dei dispositivi alle scatternet con la strategia dell'HOTSPOT

Non solo, creando più coppie d'adattatori tra loro connesse (HOTSPOT) è possibile instradare il segnale seriale via Bluetooth in reti scatternet anche molto più ampie⁷.

Vengono poi proposte tre soluzioni per la scelta dell'antenna (interna, stub, cavo) da utilizzare a seconda del "case" utilizzato dal nostro sistema (metallico o di plastica) e a seconda della lunghezza del collegamento Bluetooth.

Ricordiamo infatti che la specifica Bluetooth prevede due classi di potenza per la trasmissione radio: zero dbm per collegamenti da circa 10 metri e 20 dbm per collegamenti fino a 100 metri.

La cosa che più stupisce oltre agli alti baud rate di trasmissione e i bassi consumi sono certamente le dimensioni: queste (23 * 35 * 5 mm) sono paragonabili a quelle di un fiammifero!

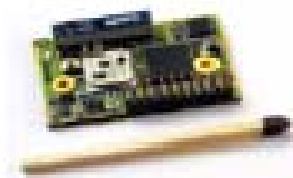


Figura 2.12 Il Serial Adapter ConnectBue

Le soluzioni di Wireless Future: i moduli BlueWave

L'ultima soluzione che andiamo a considerare è quella fornita dalla wireless future: il BlueWave.

Più che le caratteristiche tecniche, questa soluzione ci ha attratti per i prezzi relativamente bassi riscontrati sul sito (circa 60 euro a modulino).

Questi dispositivi implementano espressamente l'Example Design del BlueCore2 della CSR di cui si è già parlato. Dato il costo non eccessivo rappresentano una buona alternativa a costruirsi l'hardware autonomamente, soprattutto nel caso non si debba avere a che fare con volumi di produzione troppo elevati.

Vengono proposte due soluzioni per il link seriale wireless.

La prima utilizza due modolini BlueWave preventivamente appaiati, programmati e settati. Questa risulta particolarmente efficace se si voglia solamente ottenere il rimpiazzo di un cavo seriale nel modo più semplice e veloce possibile.

⁷ Non è difficile immaginare come tutto ciò possa tornare enormemente utile in un contesto di dispositivi domotici bluetooth.... Oppure in una gestione complessa di tanti punti luce tra loro distanti e collegati via bluetooth.....

Si pensi alla mole di cavi che i sistemi moderni di illuminazione per teatri e per spettacoli all'aperto comportano. Tutti i proiettori, i faretti, le macchine per il fumo sono oggi collegati attraverso il protocollo seriale DMX 512. Questo standard comporta una scomodissima mole di cavi che rende spesso inaffidabile il sistema e ingestibile il passaggio dei cavi.

In questi casi una applicazione come quella su cui ci stiamo concentrando potrebbe rappresentare una vera e propria panacea.



Figura 2.13 Moduli BlueWave per il rimpiazzo dei cavi seriali

In questo modo si può ottenere un collegamento wireless abbattendo tutti i costi di ricerca e sviluppo relativi al Bluetooth ed avere un time-to-market davvero interessante.

Anche per questi dispositivi le configurazioni avvengono tramite comandi AT.

Sul connettore d'uscita a 12 pin abbiamo tutti i segnali necessari (vedi sotto). Anche in questo caso dimensioni ridotte e bassi consumi rendono il dispositivo facilmente integrabile.

La seconda soluzione utilizza un modulino che può essere inserito in una rete di dispositivi Bluetooth e implementando il profilo SPP può formare un link seriale con il dispositivo Bluetooth con cui di volta in volta formerà il link seriale.

Il dispositivo può essere configurato sia come master sia come slave.

Le uscite seriali sono disponibili sia con i livelli standard 232 (+/- 12V) sia con livelli CMOS compatibili (3.3V). Viene altresì implementato il controllo di flusso hardware dei dati

(RTS/CTS) per entrambi i formati. Grazie alla sua flessibilità rappresenta certamente una soluzione più appropriata di quella precedente se si desidera instaurare collegamenti dinamici in un ambiente domotico con tanti dispositivi e peraltro variabili nel tempo.

In questo modo il nostro dispositivo sarà aperto a comunicazioni seriali (SPP) con PC portatili, Telefonini, PDA...o altri dispositivi della rete domotica (che ovviamente dovranno implementare a loro volta il profilo Bluetooth SPP).



Figura 2.14 Il modulino Bluewave

NO	PIN NAME
1	VCC (3.5v-16V DC)
2	DIO A
3	RS232 RTS (out)
4	RS232 CTS (in)
5	RS232 RxD
6	RS232 TxD
7	UART RxD
8	UART TxD
9	UART RTS (out)
10	UART CTS (in)
11	DIO B
12	GND (0v)

3. Studio comparativo delle possibili fonti luminose

3.1 Introduzione

Nella fase iniziale di questa tesi ci si è posto il problema di studiare quale fosse la fonte luminosa più appropriata per il nostro dispositivo.

Ci si è soprattutto interessati a quelle fonti luminose che potessero rientrare in un'applicazione di tipo domotico e quindi in un contesto residenziale; allo stesso tempo, poiché il nostro dispositivo potrebbe risultare interessante in applicazioni d'illuminazione generica (come già detto nell'introduzione), non ci si è sottratti dall'analizzare anche soluzioni più complesse e generali.

Compito di questo capitolo è presentare il percorso che ci ha portati alla scelta di una fonte luminosa a LED.

Non è infatti prematuro affermare che nel campo dell'illuminazione sta per effettuarsi una vera e propria Rivoluzione, ed essendo questo lavoro uno studio sui sistemi d'illuminazione a controllo remoto, si è deciso di dedicare un intero capitolo a questo argomento sia per giustificare la scelta dei LED per la nostra lampada sia per presentare gli aspetti più affascinanti di questa Rivoluzione (percepita al momento solo dagli addetti ai lavori).

3.2 Nozioni d'illuminotecnica

Prima di passare in rassegna le varie tipologie di fonti luminose e farne uno studio comparativo è opportuno richiamare alcune definizioni.

Le grandezze cui stiamo per riferirci sono grandezze di tipo fotometrico: ovvero non sono misure di tipo assoluto dei fenomeni fisici, bensì pesate rispetto alla percezione dei sensi umani.

Ad esempio, mentre per un flusso radiante (*potenza radiometrica*) siamo abituati ad utilizzare il Watt come unità di misura, per un flusso fotometrico (*potenza fotometrica*) si deve adottare il lumen; mentre le grandezze di tipo radiometrico considerano effettivamente l'energia di tutti i fotoni dello spettro dell'onda elettromagnetica, le grandezze di tipo fotometrico vanno a considerare solo la porzione dello spettro visibile e ad ogni frequenza viene assegnato un peso a seconda della sensibilità dell'occhio umano, in accordo alle curve (Fotopica o Scotopica) di conversione lumen/watt (a seconda che l'occhio sia adattato ad una luce diurna o ad una condizione di bassa luminosità notturna).

Infatti, l'occhio umano è in grado di percepire un flusso di circa 10 fotoni al secondo alla lunghezza d'onda di 555 nm, mentre ne necessita di 214 a 450 nm o di 126 a 650nm; di conseguenza a 555 nm (giallo-verde) 1 W radiometrico equivale a 683 Lm (curva fotopica),

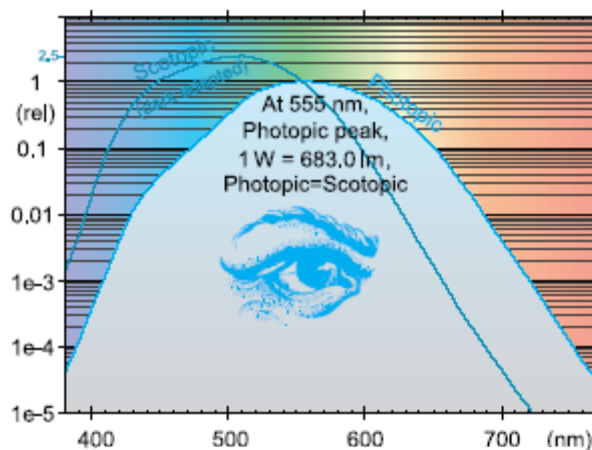


Figura 3.1 Curva Fotopica e Scotopica

a tutte le altre lunghezze d'onda si dovrà tener conto del fattore d'attenuazione mostrato in figura 3.1.

Se per il flusso luminoso viene adottato il *lumen*, per misurare l'intensità del flusso luminoso viene utilizzata la *candela*, che rappresenta un flusso luminoso per unità d'angolo solido.

Una sorgente isotropica di 1 candela emetterà 1 Lm per ogni steradiante, ovvero un flusso totale di 4π (12.5664) Lm; sulla superficie sferica di 1 m² alla distanza di 1 metro dalla sorgente, per la definizione di steradiante, vi sarà un Illuminamento (Lm/m² o lux) di 1 Lm/m².

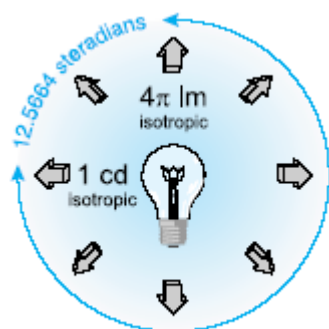


Fig. 7.3 total flux output.

Figura 3.2 Equivalenza lumen-candela

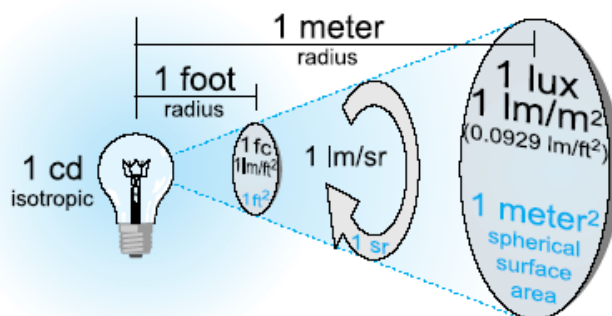


Figura 3.3 Definizione d'Illuminamento

Due parametri molto importanti per confrontare sorgenti luminose differenti sono l'Indice di Resa Cromatica (IRC) e la Temperatura di colore.

➤ La **Temperatura di colore** è una misura di apparenza cromatica ed è definita come quella temperatura, espressa in gradi Kelvin (K), alla quale il colore del corpo nero corrisponde esattamente a quello della sorgente luminosa.

Nel caso non esista una corrispondenza perfetta si fa riferimento alla corrispondenza più vicina e si parla di temperatura di colore correlata (caso dei tubi fluorescenti). Basse temperature di colore esaltano le cosiddette tonalità calde (rosso, arancione...), temperature più alte tendono a mettere in evidenza tonalità più fredde (blu, viola...).

Ciò è dovuto alla banale osservazione che i colori che gli oggetti possono riflettere dipendono necessariamente da quelli generati dallo spettro della fonte.

Sorgenti con temperature di colore molto simile possono far apparire gli stessi oggetti anche con colori molto diversi.

➤ **L'Indice di Resa Cromatica (IRC)** va proprio a valutare le differenze che vi

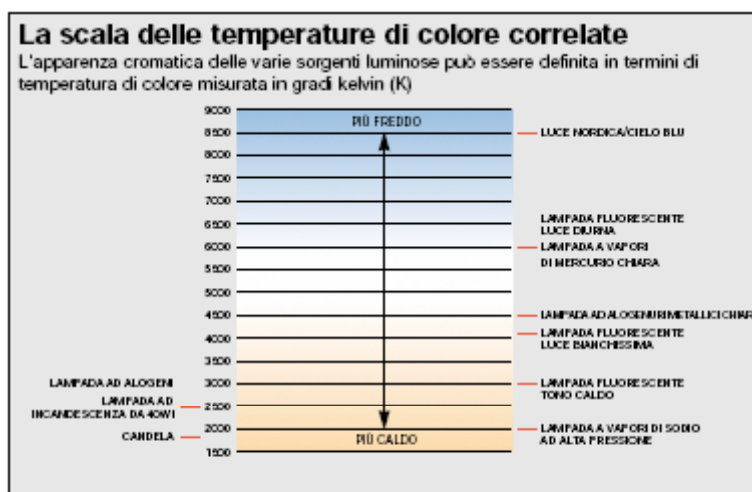


Figura 3.4 Scala delle Temperature di colore



Figura 3.5 I Colori del Test Ra

sono tra i colori percepiti dagli oggetti al variare del fatto che sia la nostra fonte luminosa ad illuminarli o il relativo corpo nero alla stessa temperatura di colore.

A questo fine sono stati condotti degli esperimenti sulla visione umana consistenti nel valutare le differenze di colore riscontrate in otto campioni standard illuminati prima da un sorgente tipo corpo nero e conseguentemente dalla fonte in esame: se nessun dei campioni muta di colore alla fonte è assegnato un indice Ra di 100, nel caso contrario si ottengono indici più bassi.

Un IRC tra 85 e 100 indica un'ottima resa cromatica, tra 70 e 85 buona, tra 50 e 70 discreta.

➤ Un altro parametro che useremo spesso è *l'efficienza luminosa* che indica quanta potenza elettrica (Watt) fornita alla fonte luminosa venga poi effettivamente trasformata in potenza luminosa (lumen): quest'efficienza sarà misurata in termini di lumen / Watt.

3.3 Lampade ad incandescenza

3.3.1 Lampada Classica

Sono certamente le più comuni e conosciute. Sono costituite da un bulbo di vetro contenente un filamento di tungsteno sostenuto ai due estremi e tenuto sotto vuoto o in un gas inerte (per evitare che bruci). Quando il filamento è attraversato dalla corrente, per effetto Joule, si riscalda fino all'incandescenza emettendo luce.

In verità l'effetto luminoso è a dir poco marginale rispetto a quello termico; solo circa il 10 % dell'energia elettrica è convertita in energia luminosa. Ne consegue che in tutto il mondo, in ogni istante, sono dissipate quantità di energia indicibili per ottenere del calore non richiesto e, per così dire, come effetto marginale anche della luce (!). Uno spreco di queste dimensioni porta a riflessioni anche più ampie: si pensi, ad esempio, a quante tonnellate di diossido di carbonio debbano essere immesse ogni anno nell'atmosfera per alimentare questo spreco....

Tranne che per qualche accorgimento nei materiali e nel processo produttivo, queste lampade non hanno subito grosse migliorie; nonostante ciò hanno rappresentato la soluzione più attraente nell'illuminazione domestica per quasi un secolo.

Il loro vantaggio principale, che le rende ancora oggi un prodotto di un certo successo, è la semplicità costruttiva che in termini di mercato si traduce in un prezzo bassissimo, anche inferiore ai 50 centesimi.

Vista anche la loro semplicità elettrica (ai fini esterni sono delle semplici resistenze PTC) possono essere "dimmerate" con estrema precisione anche con circuiti molto semplici ed economici; si accendono istantaneamente e hanno dimensioni abbastanza contenute.

Questo tipo di fonte luminosa ha una Temperatura di colore abbastanza bassa, oscilla, infatti, a seconda dei modelli, tra 2800 K e 3200 K (all'incirca la temperatura di incandescenza del metallo).

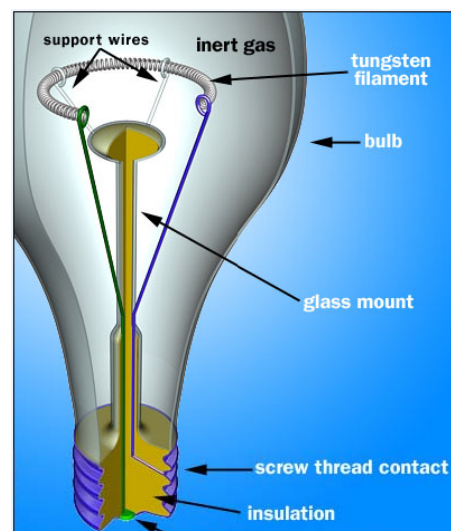


Figura 3.6 Lampada ad incandescenza

La bassa TdC le conferisce quell'aspetto giallastro che spesso viene anche apprezzato dagli utilizzatori che la etichettano come "luce calda" contrapponendola a quella più fredda e piatta dei tubi fluorescenti.

L'indice di resa cromatica di questa fonte è tra i più alti e di solito pari a 100. Infatti, il metallo incandescente si comporta quasi come un corpo nero, fornendo uno spettro di emissione nella zona del visibile molto simile a quello previsto dalla legge di Stephan-Boltzmann, ma non per questo possiamo concludere che i colori siano riprodotti fedelmente: se si analizza bene lo spettro di emissione si vede che nel "range" del visibile 380 – 770 nm l'emissione è tutt'altro che uniforme.

Questo spiega perché la luce ad incandescenza faccia fatica a riprodurre fedelmente le tonalità sul blu (basse λ) ed esalti le tonalità verso il giallo-rosso (alte λ).

L'efficienza come già rilevato è molto bassa e si attesta intorno ai 13-17 lm/W.

Insieme all'efficienza il parametro che più rende questa fonte svantaggiosa è l'affidabilità, parametro ulteriormente importante se l'applicazione in cui viene utilizzata deve prevedere il minor numero possibile di interventi da parte dell'utente.

A maggior ragione in un ottica di ausilio per disabili o anziani, o in generale in situazioni dove la manutenzione riveste un ruolo fondamentale, l'affidabilità riveste un'importanza ancora superiore.

Il tempo di vita media di queste lampade si aggira intorno alle 1000 ore.

Uno sviluppo relativamente recente che ha cercato di migliorare in primo luogo l'affidabilità ed anche l'efficienza della lampada ad incandescenza è stato quello che ha portato alle cosiddette Lampade Alogene.

3.3.2 Lampada Alogene

In una lampada ad incandescenza standard il tungsteno del filamento tende ad evaporare e a depositarsi sulle pareti del bulbo riducendo la quantità di luce emessa.

Inoltre il filamento diventa sempre più sottile, fino a spezzarsi. Gli elementi contenuti all'interno del gas di una lampada ad alogenuri fanno ridepositare gli atomi di tungsteno evaporati sul filamento.

Questo fenomeno, descritto in figura a lato, rallenta il deterioramento del filamento, migliora la

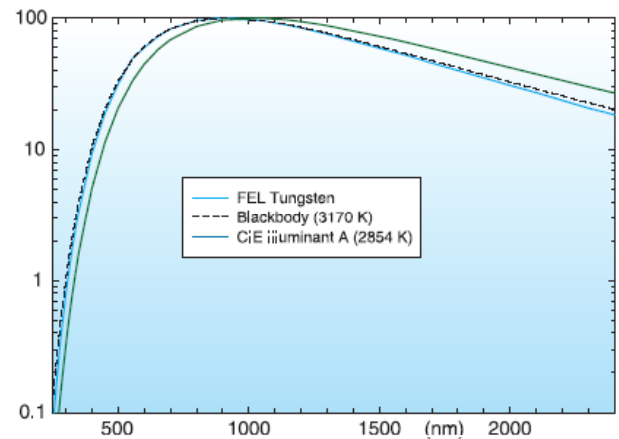


Figura 3.7 Emissione delle sorgenti incandescenti

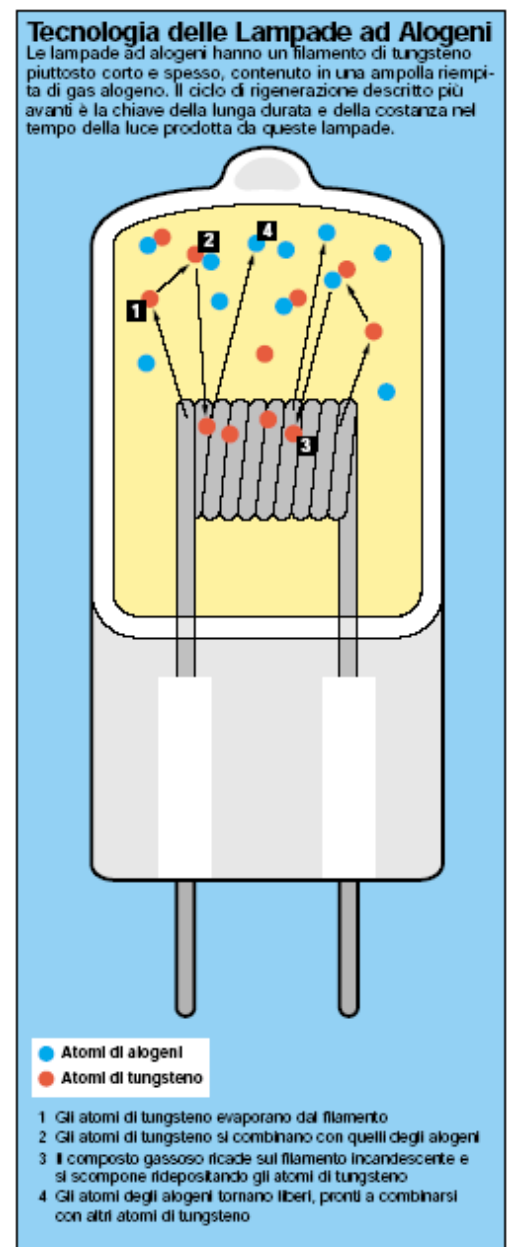


Figura 3.8 Lampada Alogena

costanza dei lumen prodotti e allunga la durata della lampada.

Queste lampade hanno una TdC più elevata delle precedenti; la loro luce contiene una maggiore quantità di blu e minore di giallo rendendo la loro luce più bianca e brillante rispetto alla incandescente classica.

Benché entrambe abbiano un IRC pari a 100, lo spettro dell'alogeno grazie alla TdC maggiore (intorno ai 2900 3000 K) si mostra più piatto ed uniforme il che si ripercuote in una maggiore fedeltà cromatica.

Questa lampada può sostituirsi immediatamente a quella classica senza nessuna variazione nei circuiti di pilotaggio.

Il tempo di vita medio viene raddoppiato (2000 ore) e l'efficienza portata a 16-25 lm/W.

Si rivelano poi particolarmente efficienti e potenti anche nell'utilizzo a bassa tensione (6 – 12 V) proponendosi come delle ottime sorgenti luminose puntiformi; vengono molto utilizzate anche a fini decorativi in ambienti commerciali accoppiate con le ottiche più disparate.

Unica problema che pongono in più è quello che non devono mai essere toccate a mani nude pena l'innescamento di un processo di devetrificazione che porta alla formazione di macchie nere sul bulbo.

Bisogna anche rilevare che il costo è notevolmente superiore rispetto all'incandescenza classica (anche cinque volte), fattore che ne ha limitato la diffusione in ambienti domestici, facendogli preferire ancora la vecchia ed economica incandescente standard.

Nel nostro caso, invece, il costo della lampada non grava quasi per nulla sul costo complessivo del sistema; il valore aggiunto della soluzione alogena deve essere assolutamente adottato in una scelta del dispositivo con fonte ad incandescenza, sia per quanto si è detto sull'efficienza sia, in particolar modo, per quanto si è detto sulla sua raddoppiata affidabilità.

Nonostante l'inevitabile scomparsa, a lungo termine, di questo tipo di fonte luminosa, al momento, le incandescenti rappresentano ancora un punto di riferimento importante per molte applicazioni.

Negli ambienti residenziali il loro successo continuerà ancora per molti anni, ed è per questo che nel presente lavoro non abbiamo potuto sottrarci dal prospettare una soluzione del dispositivo che funzionasse con lampada alogena.

3.4 Lampade tubolari fluorescenti

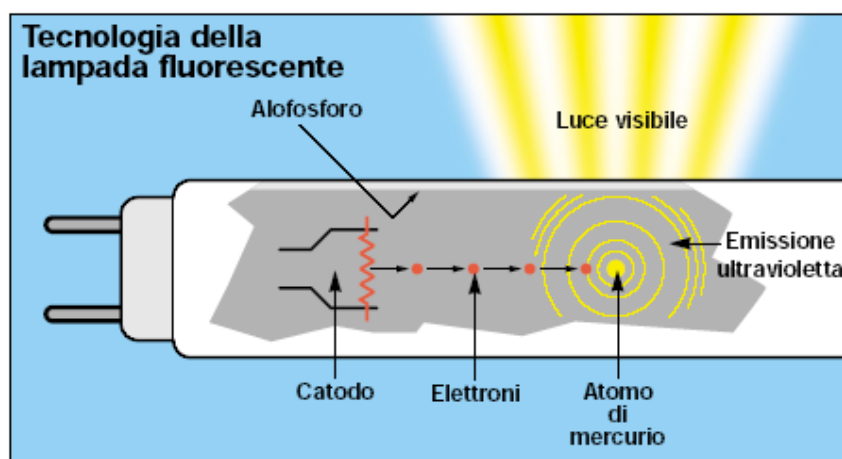


Figura 3.9 Tubo Fluorescente

Una lampada fluorescente è una sorgente luminosa “ *a scarica in gas* “. La luce viene prodotta dallo scoccare di un arco tra elettrodi di tungsteno collocati all’interno di un tubo contenente mercurio e gas nobili a bassa pressione (facilitano la produzione dell’arco essendo tra i gas quelli che conducono per più basse tensioni e riducono l’evaporazione dei filamenti di tungsteno).

La scarica può essere innescata o da un’elevata tensione ai capi del tubo, nel qual caso si parla di lampade a *catodo freddo*, o da una tensione più bassa agevolata però da un pre-riscaldamento degli elettrodi, nel qual caso si parla di lampade a *catodo caldo*.

La tensione ai capi del tubo prima della scarica ionizza il gas (elettroni liberi e ioni), aumentando le sue capacità conduttive.

Una volta che si è innescato l’arco, che col suo calore fa anche evaporare la piccola quantità di mercurio presente nel tubo, un catodo comincia ad emettere elettroni che vengono attirati dall’anodo.

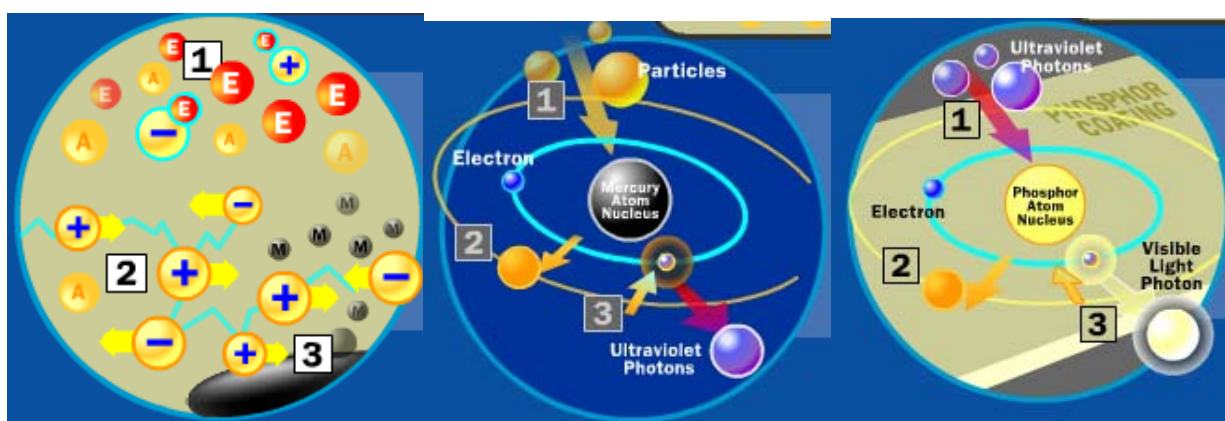
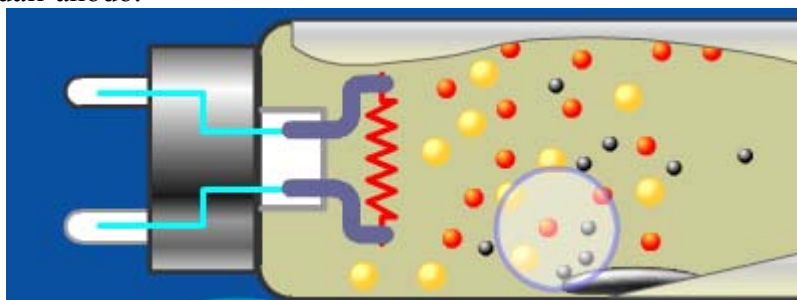


Figura 3.10 Fenomeni fisici del tubo fluorescente

Nell’attraversare il tubo gli elettroni collidono con gli atomi di mercurio e, se l’energia trasportata è sufficiente, li ionizzano.

Quando gli atomi ionizzati perdono la loro energia tornando allo stato fondamentale lo fanno attraverso una transizione radiativa (emissione di fotoni), durante la quale gli elettroni passano ad un livello orbitale meno energetico.

Attraverso la nota relazione di Plank $E = h\nu$ è possibile stabilire la frequenza, e quindi la lunghezza d’onda, dell’onda elettromagnetica prodotta nel passaggio degli elettroni dallo stato energetico eccitato a quello stabile (con E differenza di energia tra orbitale dell’elettrone eccitato e quello dopo la transizione).

Tipicamente gli atomi di mercurio emettono a 253.7 nm, cioè nell’ultravioletto: questi fotoni a loro volta colpiscono il fosforo del rivestimento interno del tubo dando luogo all’emissione di fotoni nel "range" del visibile; il fosforo in pratica funge da convertitore di luce ultravioletta in luce visibile.

Dal punto di vista elettrico il tubo fluorescente è certamente un dispositivo molto più complesso delle lampade a incandescenza suddette.

Innanzitutto per funzionare richiedono un circuito ausiliario che svolga le seguenti funzioni: fornisca fra gli elettrodi una tensione sufficiente a provocare l'arco e mantenga costante la corrente che scorre all'interno della lampada.

La prima funzione è svolta di solito dallo starter, montato in parallelo al tubo; la seconda funzione, invece, è realizzata da un'induttanza connessa in serie al tubo.

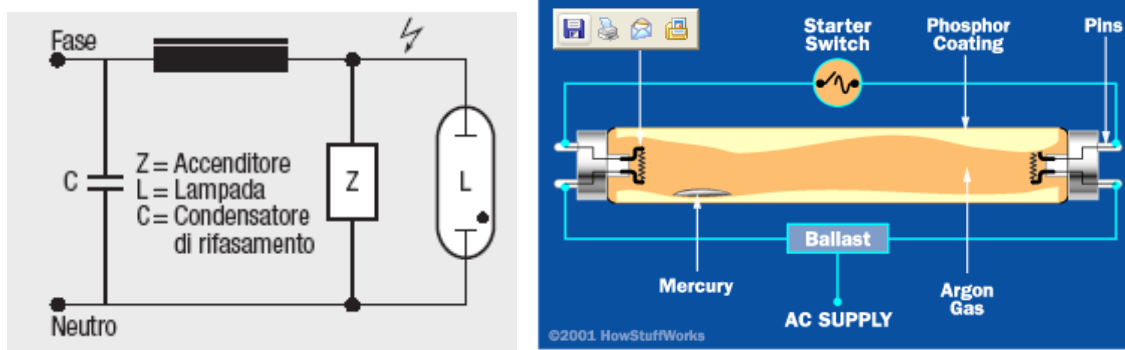


Figura 3.11 Circuiti elettrici per il tubo fluorescente

Lo starter è composto da un contatto bi-metallico, racchiuso in un involucro di vetro, riempito con una miscela di gas il cui principale componente è il neon.

Lo stato in cui si trova normalmente lo starter è di interruttore aperto. Quando viene applicata la tensione di linea al circuito questa cade interamente sul parallelo del tubo (impedenza molto alta) e del trigger bi-metallico. La tensione ai capi del trigger è quindi sufficientemente alta da ionizzare il gas neon all'interno dello starter, i contatti bi-metallici si scaldano nella dilatazione che ne deriva si toccano chiudendo il circuito; la corrente comincia così a fluire, de-ionizzando il gas dello starter ma riscaldando anche i filamenti del tubo.



Figura 3.12 Funzionamento dello Starter

Questo riscaldamento dei filamenti è uno dei punti essenziali dell'efficienza di questa tipologia di lampade a scarica: i filamenti della lampada durante il pre-riscaldamento aumentano la loro temperatura e per effetto termoionico aumentano la loro emissione di elettroni liberi all'interno del gas. Gli elettroni liberi insieme alle particelle che avranno ionizzato rappresentano una miscela ideale (plasma) per far avvenire un arco più efficiente e con più basse tensioni ai capi del tubo.

Una volta de-ionizzato il gas dello starter, i contatti si raffreddano, si restringono e il circuito torna ad aprirsi; tutto ciò provoca una variazione di corrente molto brusca nell'induttanza che per la legge di Lenz risponde con un picco di tensione che va ad innescare l'arco nel nostro tubo fluorescente.

Una delle particolare caratteristica dei tubi è la resistenza dinamica negativa, ovvero all'aumentare della corrente che attraversa il tubo la tensione ai capi diminuisce (più passa corrente e più il gas si ionizza e più diventa conduttore).

Per questo motivo è necessario un dispositivo in serie alla lampada ne limiti la corrente. L'induttanza (chiamata anche *reattore* o *ballast*) assolve questa funzione, facendo in modo che la tensione applicata ai capi del tubo a circuito aperto sia in grado di innescare l'arco, cosicché la corrente possa fluire fra gli elettrodi ed innescare il fenomeno

della fluorescenza. Ciò può avvenire o con un'alta tensione applicata agli elettrodi, oppure con una tensione minore se l'emissione degli elettroni viene facilitata da un preriscaldamento dei filamenti.

Una volta accesa la lampada l'induttanza provvede a limitare la corrente nel tubo (grazie alla sua azione inerziale rispetto alla corrente).

In termini di qualità di luce le lampade fluorescenti offrono più opzioni di qualunque altro tipo di sorgente luminosa.

Recentemente è diventato possibile aggiungere rivestimenti in tecnologia trifosforo che consentono di controllare in modo preciso la generazione dei colori primari della luce. Grazie a questa tecnologia sono state sviluppate lampade ad alta efficienza in una vasta gamma di TdC, caratterizzate da un ottimo IRC.

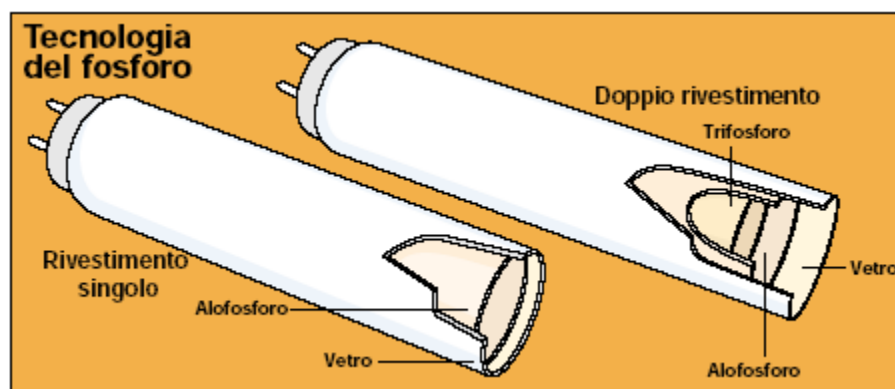


Figura 3.13 Rivestimento con Alofosforo e Trifosforo

Infatti, una delle caratteristiche peggiori di questo tipo di lampada, soprattutto nelle versioni più economiche, dove il rivestimento del vetro è fatto con un solo alofosforo, è un basso IRC intorno ai 65-85; ciò è dovuto soprattutto alle caratteristiche spettrali poco omogenee della luce emessa da tutti i tipi di lampade ad arco (figura 3.12 a sinistra). Il singolo rivestimento alofosforico già migliora nettamente la distribuzione spettrale, consentendo anche una certa flessibilità nella scelta di sorgenti bianchissime (Daylight) tipiche dei tubi (con TdC prossima a quelle del sole, 5500 K) o sorgenti più calde (Warm White) ottenute con particolari alofosfori che riescono a dare una risposta spettrale più simile a quella della lampada ad incandescenza.

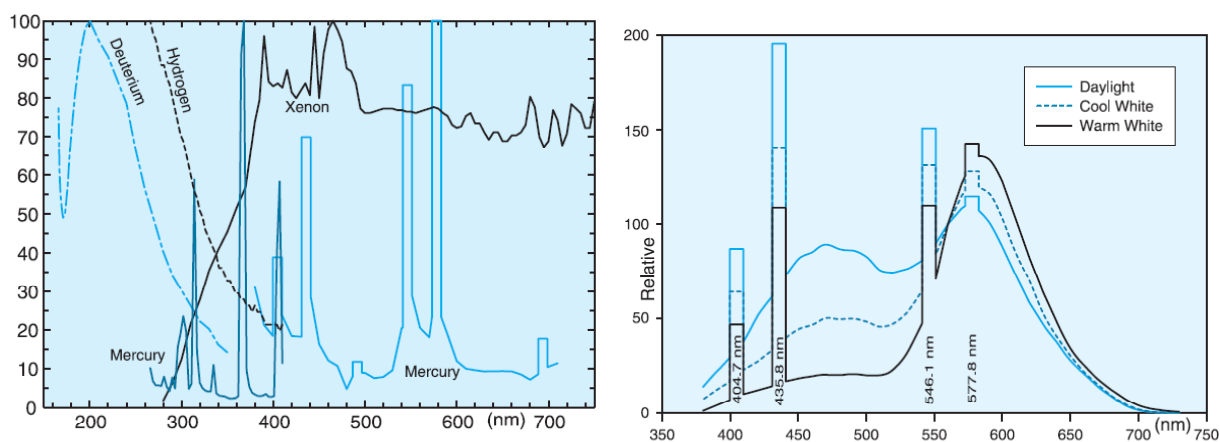


Figura 3.14 Caratteristiche Spettrali d'emissione delle comuni lampade ad arco (sinistra) e dei tubi all'alofoforo (destra).

Risultati ottimi si raggiungono però solo combinando la tecnologia degli alofosfori con quella dei trifosfori.

In questo caso l'output spettrale può essere regolato in modo da produrre TdC calde, medie, fredde.

Il rivestimento di trifosforo crea potenti bande d'energia spettrale nei colori primari in modo da assicurare un elevato IRC unito alla capacità di rendere i colori in modo eccellente.

Queste lampade si presentano con gli enormi vantaggi di avere un'efficienza tra 60 e 110 lm/W ed un tempo di vita medio che va oltre le 10000 ore. Da un punto di vista energetico rappresentano un'ottima soluzione; d'altro canto il loro costo iniziale, la loro accensione non proprio immediata, la loro bassa praticità e soprattutto l'impossibilità di essere efficacemente regolati se non con costosissime induttanze elettroniche, le hanno reso un prodotto utilizzato soprattutto dove l'investimento iniziale potesse essere ripagato da un uso quasi continuo.

Fluorescente LUMILUX® PLUS®/41

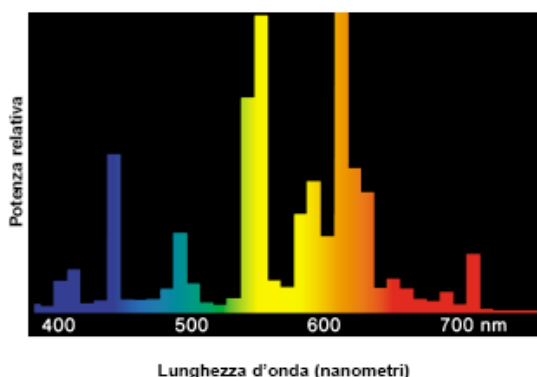


Figura 3.15 Emissione di un tubo con rivestimento al trifosforo

Un prodotto che sta riscuotendo un certo successo è quello della lampada fluorescente compatta.

Questa si sostituisce direttamente ad un'incandescente con tipologie d'attacchi compatibili, presenta un'efficienza intorno agli 60 lm/W e risulta molto pratica essendo costituita da un tubo più volte ripiegato e concentrando al suo interno sia lo starter sia l'alimentatore; anche questa però non permette di essere regolata con i semplici circuiti di dimmer analogici.



Figura 3.16 Tubo Compatto

Nella nostra soluzione per lampada fluorescente presenteremo un'efficiente strategia che ci permetterà di ottenere comunque la regolazione luminosa utilizzando un comune ed economico reattore (induttanza magnetica); riusciremo, per altro, a fare anche a meno dello starter, utilizzando una tipologia di circuito simile a quelle già vista sopra ma con lo starter sostituito da un transistor di potenza.

3.5 Lampade a scarica ad alta densità (HID)

La tecnologia di queste lampade è simile a quella delle fluorescenti; all'interno di un tubo di gas viene generato un arco che stimola la produzione d'energia radiante, senza l'utilizzo di fosfori.

Innanzitutto gli elettrodi distano solo pochi centimetri e il gas contenuto si trova ad alta pressione.

Ciò consente all'arco di generare temperature estremamente elevate da far vaporizzare gli elementi metallici contenuti nel gas e di liberare grandi quantità d'energia radiante nello spettro visibile.

Esistono tre tipologie di queste lampade: a vapori di mercurio, ad alogenuri metallici e al sodio (elementi metallici da cui dipendono le proprietà della lampada).

Il tipo *a vapori di mercurio* produce energia sia nel visibile sia nell'ultravioletto e richiede un bulbo esterno in grado di filtrare la radiazione UV: la luce generata appare bluastra con alte TdC e scadenti IRC. Per migliorare questi due parametri sono state trovate alternative che utilizzavano rivestimenti di fosforo per migliorare le caratteristiche d'emissione. In realtà questa tipologia di lampada è caduta praticamente in disuso, soppiantata da quelle di concezione più moderna agli alogenuri metallici e al sodio.

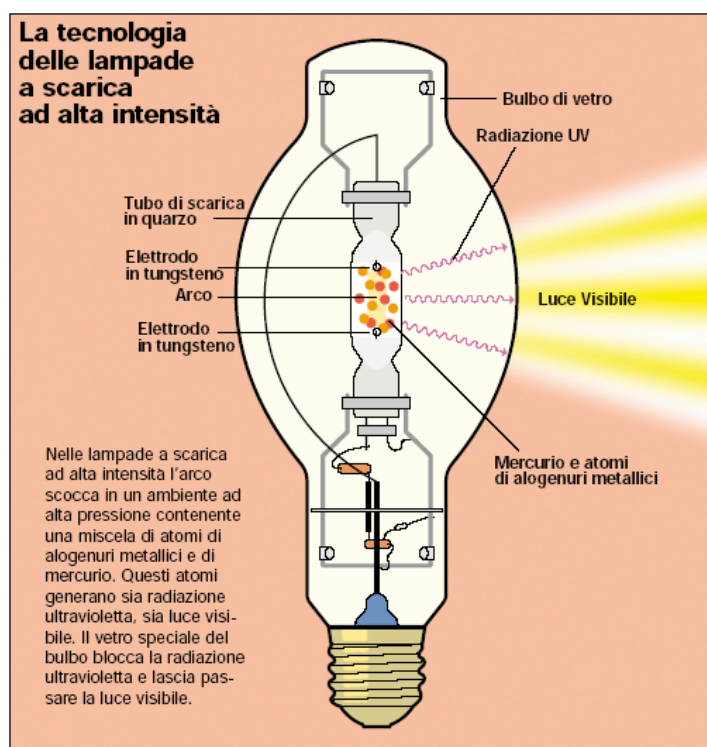


Figura 3.17 Lampada a scarica ad alta densità

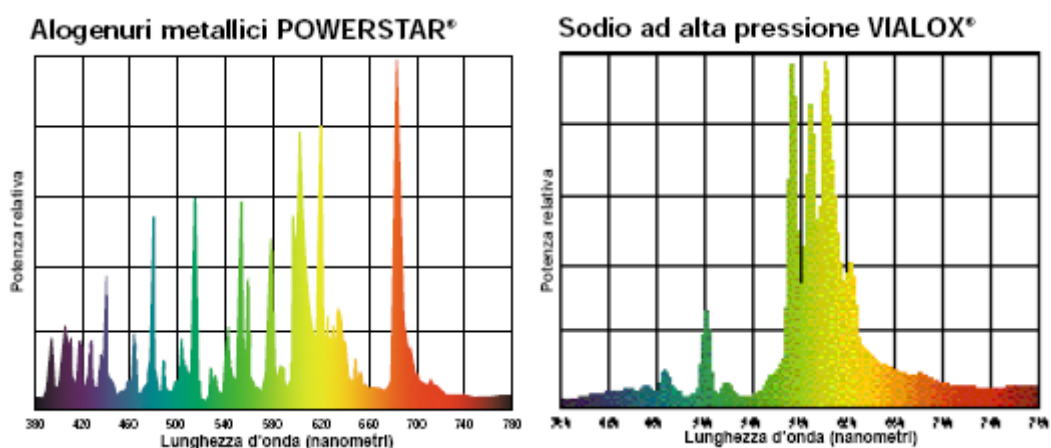


Figura 3.18 Emissione delle lampade ad alogenuri metallici e al sodio

Le lampade *ad alogenuri metallici* sono le sorgenti di luce bianca più efficienti oggi disponibili.

Si caratterizzano per un'elevata efficienza (95 lm/W), un alto IRC (85), una buona TdC (4000 K) lunga durata (9000 ore) e basso decadimento luminoso.

Gli alogenuri introdotti nel gas di scarica insieme ai vapori di mercurio migliorano notevolmente le proprietà cromatiche, e se vi si unisce anche un bulbo esterno ricoperto di fosforo i risultati diventano davvero eccellenti.

I "buchi" nello spettro d'emissione non impediscono, almeno in quasi la maggioranza delle applicazioni, di rendere i colori sorprendentemente bene: si noti, infatti, che i colori primari sono tutti ben equilibratamente presenti. Per questo motivo sono spesso utilizzate in ambienti commerciali e ovunque vi si richieda grande potenza luminosa ad alta efficienza energetica.

Le lampade **al sodio** sono state progettate in funzione d'efficienze ancora superiori (108 lm/W); con l'aggiunta del sodio all'interno del tubo di scarica, realizzato in uno speciale materiale ceramico, queste lampade assicurano un'efficienza altissima e una durata straordinariamente lunga (16000 ore).

Il problema è che la luce generata è quasi tutta concentrata nella porzione giallo-arancio dello spettro, cosa che le conferisce scarsissime proprietà cromatiche (IRC 25).

Ovviamente questo ne rende impossibile l'utilizzo in ambiti residenziali e commerciali; restano comunque un'ottima soluzione in certi ambiti industriali e per l'illuminazione esterna (giacché possono raggiungere anche potenze di 500 W).

E' proprio una variante di questa lampada a vantare il primato assoluto dell'efficienza: *la lampada al sodio a bassa pressione*. Con un'emissione esclusivamente monocromatica (gialla) raggiunge efficienze di 173 lm/W e durate considerevoli (16000 ore), cosa che la rende la miglior soluzione, ad esempio, per le illuminazioni stradali.

Anche queste lampade, come le fluorescenti, hanno speciali requisiti che devono essere soddisfatti da un alimentatore progettato su misura; il loro costo è molto alto e se si aggiunge l'alimentatore, l'accenditore e il condensatore di rifasamento si arriva ad un investimento iniziale non indifferente. Inoltre, richiedono un periodo di riscaldamento per produrre il flusso nominale che può essere lungo anche vari minuti.

Sia il costo sia il tempo d'accensione iniziale non rendono questo tipo di lampada appetibile per applicazioni residenziali; se si considera poi che molte di queste lampade contengono mercurio allo stato liquido ci si rende anche conto di una loro potenziale tossicità.

3.6 Il futuro prossimo dell'illuminazione: potenzialità delle tecnologie a stato solido.

Quando durante la ricerca della fonte luminosa più appropriata per la nostra applicazione ci si è imbattuti nelle presunte potenzialità offerte dalla stato solido, la cosa ci ha subito incuriosito.

Le stesse sofisticate tecnologie con cui siamo soliti costruire circuiti elettronici integrati entrano in competizione con quelle più “spartane” dell’incandescenza.

Evoluzioni in questo senso sono ben conosciute dagli addetti ai lavori già da qualche anno, mentre una divulgazione di massa su questo argomento non è ancora avvenuta.

Perciò, incuriositi da alcuni articoli pubblicati sull’argomento⁸, ci si è messi alla ricerca di conferme in proposito.

Ci si è subito reso conto che la documentazione autorevole in proposito non mancava di certo...

I dati che seguono sono riportati da un noto studio di consultazione americano⁹ per il dipartimento dell’efficienza energetica e delle energie rinnovabili degli Stati Uniti d’America.

In questo studio viene analizzato il mercato americano dell’illuminazione e vengono fatte delle previsioni circa il suo sviluppo.

Il **“Solid State Lightning” (SSL)** ha le potenzialità per rivoluzionare il commercio dell’illuminazione attraverso l’introduzione di fonti luminose altamente efficienti, con affidabilità durature e incredibilmente versatili.

Con la crescita degli investimenti delle industrie e del governo (USA) le prestazioni stanno crescendo d’anno in anno mentre i prezzi si mostrano in calo; questo scenario ha già cominciato a far competere (in alcuni settori) l’SSL con le convenzionali sorgenti luminose.

La comunità scientifica e dei ricercatori del campo prevedono un forte miglioramento delle prestazioni dei LED (Light Emitting Diodes) e degli OLED (Organic Light Emitting Diodes), in accordo alla legge S di sviluppo d’ogni tecnologia:

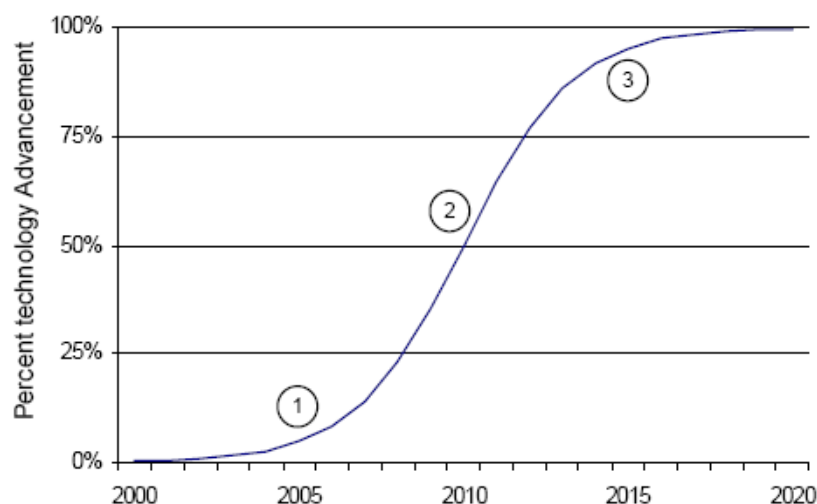


Figura 3.19 Tipica curva ad S dello sviluppo di ogni nuova tecnologia

⁸ vedi, ad esempio, “Let There Be Light” su Spectrum, Settembre 2002

⁹ Energy Savings Potential of Solid State Lighting in General Illumination Application, Navigate Consulting, Nov. 2003

Nel suddetto dossier vengono riportate stime sull'impatto di questa tecnologia sul consumo energetico nazionale e sui suoi possibili benefici economici; viene analizzato il possibile sviluppo delle prestazioni, le relative proiezioni dei prezzi e i conseguenti benefici in termini di risparmio energetico.

Viene innanzi tutto caratterizzato la domanda nazionale di luce ripartita per tipi di lampade (Incandescent, Fluorescent e High Intensity Discharge), per gruppi (4) di indice di resa cromatica (qui CRI), per mercato (Residential, Commercial, Industrial, Outdoor).

I dati attuali delle tecnologie convenzionali di cui si è già parlato vengono riassunte nella seguente tabella:

Lamp Type Sub-classification		Wattage (watts)				Efficacy (lumens per watt)				CRI All
		Res	Com	Ind	Out	Res	Com	Ind	Out	
Incandescent										
	Standard - General Service	63	83	126	138	13	14	16	16	100
	Standard - Reflector	102	104	102	103	14	14	14	14	100
	Halogen - General Service	200	64	-	-	20	17	-	-	100
	Halogen - Reflector	205	226	452	167	20	20	25	18	100
	Halogen - Reflector, low volt	-	48	58	-	-	13	13	-	100
	Low wattage (less than 25W)	-	15	19	-	-	10	10	-	100
Fluorescent										
	T5	-	8	10	-	-	95	95	-	78
	T8 - less than 4 ft	-	23	23	-	-	66	66	-	80
	T8 - 4 ft	-	33	31	-	-	83	83	-	80
	T8 - more than 4 ft	-	50	53	105	-	84	84	84	68
	T8 - U-bent	-	34	32	-	-	81	81	-	80
	T12 - less than 4 ft	-	29	32	-	-	60	60	-	71
	T12 - 4 ft	41	45	44	-	68	68	68	-	70
	T12 - more than 4 ft	-	93	95	190	-	69	69	69	76
	T12 - U-bent	-	46	46	-	-	64	64	-	67
	Compact - plug-in	-	17	31	-	-	60	60	-	82
	Compact - screw-in	18	16	14	-	55	55	55	-	82
	Compact - plug-in - reflector	-	16	-	-	-	55	-	-	82
	Compact - screw-in - reflector	11	16	14	-	55	55	55	-	82
	Circline	-	30	35	-	-	50	50	-	73
	Induction Discharge	-	-	-	-	-	-	-	-	85
	Miscellaneous fluorescent	-	18	34	150	-	55	55	55	80
High Intensity Discharge										
	Mercury vapor	179	331	409	239	38	55	55	55	33
	Metal halide	-	472	438	311	-	100	100	100	68
	High pressure sodium	79	260	394	216	100	100	100	100	22
	Low pressure sodium	-	104	90	180	-	113	113	113	10

Note: dash ("-") indicates no data for that light source / sector combination.

Source: DOE, 2002.

Figura 3.20 Consumi e Efficienza delle lampade tradizionali, organizzate per tipologie, CRI e Settore di Impiego

Le previsioni di domanda di luce (misurata in Teralumen-hours) vengono segmentate rispetto ai quattro gruppi di CRI:

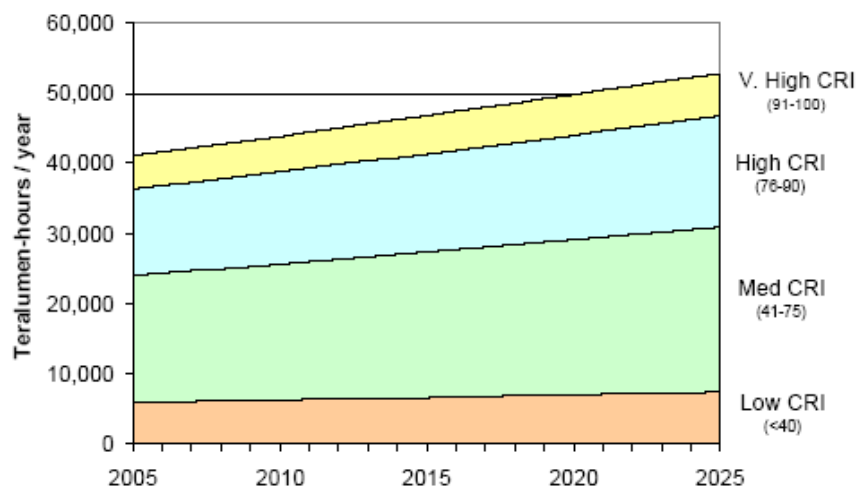


Figura 3.21 Previsione della domanda di luce negli USA .

Le previsioni di domanda di lumen rappresentano il primo componente critico per analizzare il mercato dello SSL.

Capire, infatti, di quale tipo e di quanta ne sarà richiesta di una particolare fonte luminosa è di fondamentale importanza per poter stimare con che dinamica il mercato possa rispondere al SSL.

Il mercato viene suddiviso in termini di nuove installazioni in nuovi edifici, sostituzioni delle lampade e rinnovamento delle apparecchiature.

Queste infatti rappresentano la domanda annuale del mercato che per il grosso del suo parco resta immutato; il limite massimo di penetrazione di una nuova tecnologia è rappresentato da questo “turnover” annuale.

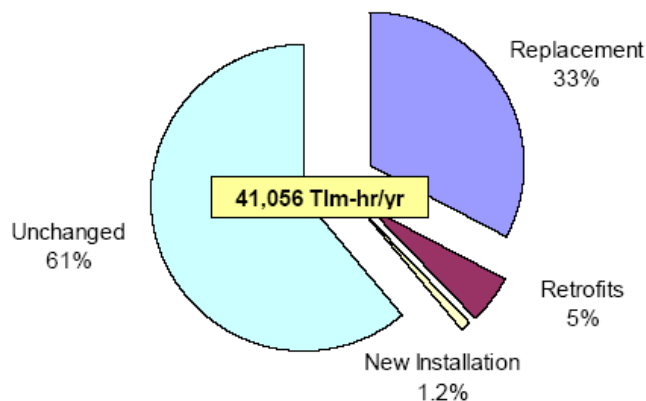


Figura 3.22 Variazioni annuali nel parco lampade

La penetrazione del SSL nel mercato sarà stabilita in base ai miglioramenti che verranno proposti di anno in anno rispetto allo stato dell’arte delle altre tecnologie luminose, e da come queste migliori tecniche saranno valutate dagli acquirenti dei vari settori.

Per quanto riguarda le tecnologie convenzionali non sono previsti grossi miglioramenti, e le loro capacità di reagire rispetto all’avvento della tecnologia SSL sembrano limitate da una certa saturazione delle prestazioni che ormai le ha fatte entrare nella terza fase (lenta crescita lineare) del grafico ad S.

La loro crescita dal 2005 al 2025 in termini di efficienza e durata sarà caratterizzata da un andamento lineare del 5-20 %, mentre il loro prezzo non calerà oltre il 10%: queste

tecnologie sono ormai in competizione tra loro già da molti anni e sembrano aver già dato il meglio di sé.

Proviamo ora a disaggregare il dato presentato finora unificato sotto la sigla SSL (LED e OLED).

E' riconosciuto che i LED abbiano potenzialità maggiori nelle istallazione di singoli punti luce, come quelle oggi dominate dalle lampade ad incandescenza o dalle lampade a scarica ad alta intensità (HID); mentre gli OLED hanno maggiori potenzialità in applicazioni di illuminazione distribuita, come quelle oggi dominate dalle lampade fluorescenti.

Da una prospettiva tecnica, è universalmente riconosciuto che in termini di performance del dispositivo, la tecnologia OLED stia trainando quella dei LED.

Table A-1. Technology Roadmap Price and Performance Improvements for LEDs

	2002	2007	2012	2020
Luminous Efficacy (lm/W)	25	75	150	200
Lifetime (thousand hours)	20	>20	>100	>100
Flux (lumens per lamp)	25	200	1,000	1,500
Lumen Cost (\$ per kilolumen)	\$200	\$20	<\$5	<\$2
Color Rendering Index	75	80	>80	>80
Lighting Markets Penetrated	Low-flux	Incandescent	Fluorescent	All

Source: OIDA, 2002a.

Figura 3.23 Stima dei miglioramenti delle performance e contestuale abbassamento dei prezzi per i LED

Table A-2. Technology Roadmap Price and Performance Improvements for OLEDs

	2002	2007	2012	2020
Luminous Efficacy (lm/W)	10	50	150	200
Lifetime (thousand hours)	0.3	5	10	20
Flux (lumens per device)	10	3,000	6,000	12,000
Lumen Cost (\$ per kilolumen)	>\$200	~50%	\$5	<\$1

Source: OIDA, 2002b.

Figura 3.24 Stima dei miglioramenti delle performance e contestuale abbassamento dei prezzi per gli OLED

Gli OLED sono disponibili sul mercato, ma non con propositi di illuminazione generale come lo sono al momento certi LED.

Il mercato attuale degli OLED è focalizzato su dispositivi quali cellulari e computer portatili.

In ogni caso si ritiene che i dispositivi a tecnologia OLED non tarderanno a pareggiare l'efficacia dei LED nelle applicazioni a "luce bianca".

Ma, anche quando l'efficienza dei due sarà uguale, i due dispositivi avranno significative differenze che le renderanno ideali per soluzioni diverse.

Si prevede infatti che gli OLED avranno una affidabilità minore (20K contro 100K ore), mentre il costo di fabbricazione sarà certamente più basso.

Il fatto di avere una vita operativa più bassa riduce i benefici di risparmio energetico di lungo periodo degli OLED, ma il fatto di avere un costo più basso li renderà certamente molto attraenti sul mercato per sostituire con 200 lm/W le attuali inefficienti tecnologie.

Da questo punto di vista risulta un po' difficile prevedere con precisione quanto la tecnologia SSL effettivamente porterà in termini di risparmio energetico assoluto.

Il dossier cerca di stimare i risparmi energetici che deriveranno dal SSL proponendo due diversi scenari: nel primo si considerano investimenti statali approssimativi di 50 milioni di dollari per anno (Moderate Investment), nel secondo si considera un investimento doppio (Accelerated Investment).

Scenario	General	Discussion	CRI Bin	Efficacy Limit*	Price Limit*	Life Limit*
Reference	All SSL penetration is set to zero	Considers the energy consumption of the lighting market if SSL did not exist, and conventional lighting improves according to the conventional technology improvement scenario selected. This scenario establishes a baseline against which the energy consumption of the other three scenarios is compared.	n/a	n/a	n/a	n/a
Moderate Investment	A national investment of approximately \$50 million per year.	Government and industry work together on R&D issues associated with SSL; however, the level of investment is not sufficient to jump-start this technology and realize significant energy savings. The rate of SSL technology advancement is not as great as the accelerated investment scenario. Medium-CRI LED technology is estimated to achieve 93 lm/W and \$4.3/klm by 2025.	Low	160 lm/W	1.9 \$/klm	80 khrs
			Med	95 lm/W	4.1 \$/klm	75 khrs
			High	81 lm/W	5.4 \$/klm	70 khrs
			V.High	70 lm/W	6.8 \$/klm	65 khrs
Accelerated Investment	A national investment of approximately \$100 million per year	Government and industry work together under an accelerated technology scenario, whereby R&D activities are conducted to both improve performance (efficiency and life) as well as reduce costs. Under this scenario, the medium-CRI LED technology achieves 181 lm/W and \$2.5/klm by 2025.	Low	229 lm/W	1.2 \$/klm	100 khrs
			Med	183 lm/W	2.4 \$/klm	100 khrs
			High	164 lm/W	3.1 \$/klm	100 khrs
			V.High	145 lm/W	3.9 \$/klm	100 khrs

*Note: the values in these cells represent the S-curve maximum achievable price and performance limits that are anticipated in each scenario. These limits represent 100% of the SSL technology goal, which may not be achieved by the end of the analysis period (i.e., SSL technology performance improvements continue beyond 2025).

Figura 3.25 Possibili Scenari di crescita in base al diverso investimento del governo USA

Le previsioni vengono effettuate in base ai vari gruppi di CRI, andando a valutare i limiti teorici nella curva ad S nel 2025 dei parametri efficienza, prezzo per Klm e durata.

Utilizzando un modello per fare previsioni sulla penetrazione della tecnologia SSL che si basa sull'adozione di una nuova tecnologia più efficiente in base al tempo medio in cui promette di ripagarsi, vengono stimate le varie percentuali di penetrazione nei vari gruppi di mercato e come queste vadano a rendere più efficiente di anno in anno ogni settore.

Ad esempio, le percentuali di penetrazione annue nel settore commerciale delle lampade hanno la seguente forma:

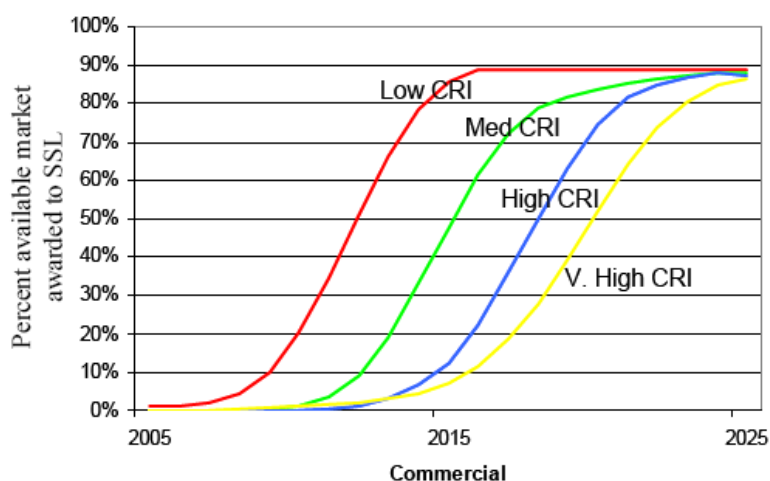


Figura 3.26 Stima della penetrazione nel mercato delle lampade in ambito commerciale

In base alle varie percentuali di penetrazione di mercato vengono proiettati gli andamenti di come ogni gruppo di fonte luminosa (in base al CRI) aumenterà di anno in anno la propria efficienza e il proprio tempo di vita grazie all'apporto fornito dalla tecnologia SSL:

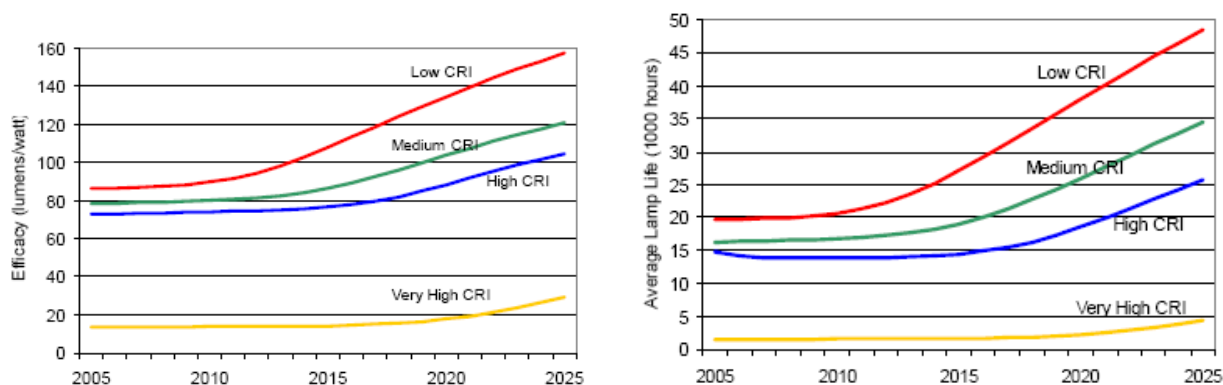


Figura 3.27 Stima dell'aumento dell'efficienza e del tempo di vita medio delle lampade al variare del gruppo di CRI di appartenenza.

Ad una analisi più approfondita si può stabilire che il settore che per primo inizierà ad adottare massicciamente questa tecnologia sarà quello commerciale, intorno al 2015.

Il settore residenziale, più refrattario a questi cambiamenti repentini, comincerà ad adeguarsi intorno al 2020, ma quando inizierà a farlo lo farà con la stessa velocità di crescita con cui l'avrà fatto il settore commerciale sette anni prima.

Nel settore industriale e in quello dell'illuminazione esterna la crescita sarà abbastanza lenta a causa delle buone caratteristiche offerte già ad oggi dalle lampade HID e dalle efficientissime lampade al sodio: la fase lineare della loro curva ad S si prolungherà ancora per vari anni...

Se si prova a monetizzare questo aumento delle prestazioni i risparmi economici possibili per lo stato e per tutta la popolazione (americana) sono tangibili e sull'ordine dei quadrilioni di dollari:

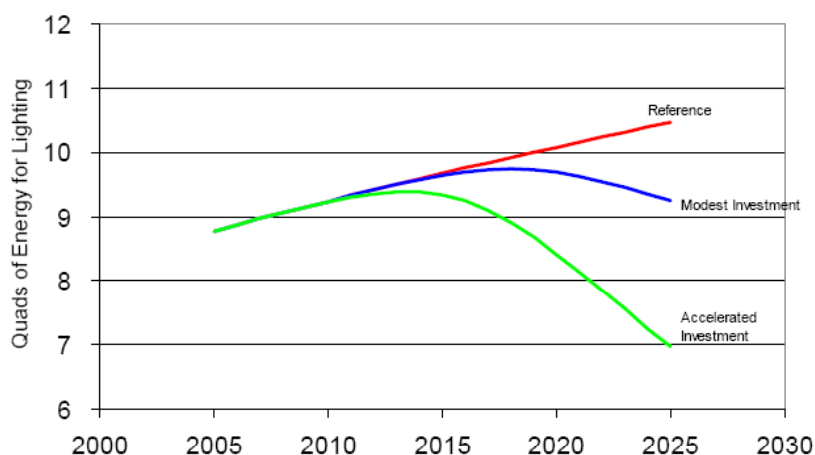


Figura 3.28 Stima del consumo globale energetico per Illuminazione fino al 2025, al variare dello scenario di investimento del governo negli USA.

Scenari di questo genere saranno possibili se il governo e le industrie americane decideranno di essere partner in questo sviluppo dividendosi rischi e benefici (si ricorda che la scenario “Accelerated Investment” significa per lo stato uno sborso annuo di 100 milioni di \$).

La maggior parte dei 300 TWh risparmiati al 2025 deriveranno soprattutto dalla sostituzione delle lampade incandescenti (Very high CRI), in particolar modo nel settore commerciale e in quello residenziale.

Se le promesse di riduzioni dei consumi di 3,5 Quads saranno mantenute, sarà anche possibile evitare la costruzione di una quarantina di centrali elettriche da 1000 MW già in programma e di non dover fare i conti con il loro impatto ambientale...

Tutto questo però nel caso che nel frattempo non nasca una nuova tecnologia, ancora migliore, che sostituisca quelle obsolete prima che lo facciano i LED e gli OLED, nel qual caso tutto quanto si è detto viene invalidato.....

3.7 Stato dell'arte dei LED Superluminosi e motivazioni della scelta Luxeon di LumiLEDs.

L'entusiasmo iniziale creato dalla consapevolezza delle potenzialità dei LED nel campo dell'illuminazione se da un lato ha prodotto l'effetto benefico di una forte fiducia verso questa tecnologia dall'altro, in ambienti soprattutto non troppo tecnici, ha finito per creare dei falsi miti che in realtà non rispecchiano lo stato attuale delle cose.

Innanzitutto non sempre e non tutti i LED hanno una vita media di 100K ore: i LED convenzionali (non Luxeon) hanno spesso dimostrato di avere un tempo di vita medio (definito come il tempo dopo il quale il flusso luminoso si abbassa del 70% rispetto a quello iniziale) molto minore; i LED Luxeon mostrano invece di mantenere il 70% del flusso anche dopo 50K ore, specialmente per il colore bianco.

Bisogna ammettere subito che la maggior parte dell'energia, come nella lampadina incandescente, allo stato dell'arte attuale, è trasformata in calore; il problema è proprio come trasportare via questo calore con un attento design del LED e del supporto su cui è montato.

I LED Luxeon sono stati progettati per disaccoppiare il flusso termico da quello elettrico; grazie ad una soluzione costruttiva innovativa riescono a dissipare molto bene il calore prodotto e risultano quindi ben performanti anche a potenze dell'ordine dei Watt.

In realtà, al momento è ancora prematuro parlare di LED come alternativa credibile alla lampada ad incandescenza su potenze superiori ai 30 W (nonostante siano state create lampade LED dimostrative fino a 200 W di potenza¹⁰).

La luce dei LED convenzionali attuali ha una temperatura di colore intorno ai 5500K, ciò la rende molto diversa dalla luce “calda” dell'incandescenza; Luxeon, invece, ha sviluppato un modello particolare di LED “Warm White” con alta brillantezza, con temperatura di colore intorno ai 3200K, e con caratteristiche spettrali molto più simili a quelle del corpo nero rispetto ai LED convenzionali.

Questo tipo di LED è particolarmente efficace per illuminazioni nei musei, nei negozi, nei ristoranti, negli hotel e nelle luci per lettura dove avere un alto Indice di Resa Cromatica (90/100) è molto importante per l'utente.

¹⁰ vedi recente esibizione a Los Angeles del Super LED “Godzilla Jr”

Infine precisiamo una cosa importante: i LED per illuminazione generica sono prodotti ancora molto costosi.

Valutato ciò, quando si decide di acquistarli, non si deve solo guardare al prezzo, ma alle prestazioni complessive in termini d'efficienza e affidabilità e da questo punto di vista i LED Luxeon sono davvero competitivi.

Va altresì precisato che per far un buon prodotto a LED, non servono solo buoni LED; bisogna prestare attenzione ai circuiti d'alimentazione che si usano, alle ottiche che possono essere utili nei diversi casi, al dimensionamento degli aspetti termici; ed anche su quest'aspetto LumiLEDs offre una vasta gamma di soluzioni e prodotti.

Sono stati questi i motivi che ci hanno spinto a scegliere per la nostra applicazione LED prodotti dalla LumiLEDs.

La LumiLEDs Lighting rappresenta l'azienda leader mondiale produttrice di LED ad alto flusso luminoso, un'azienda pioniera nell'uso dell'illuminazione allo stato solido per soluzioni legate alla vita quotidiana: illuminazione generica, nel campo delle automobili, nella segnaletica stradale e nel retroilluminamento degli LCD.

I prodotti certificati Luxeon Power Light Sources sono stati i primi a combinare la lucentezza dell'illuminazione tradizionale con tutti i vantaggi della tecnologia LED.

Vediamo in sintesi qual è ad oggi lo stato dell'arte di questo tipo di prodotti analizzando il catalogo della LumiLED.

3.7.1 Luxeon Power Light Sources: soluzione plug and play

Una prima tipologia di prodotti è quella cui si faceva riferimento poc'anzi, la Luxeon Power Light Sources: una configurazione standard di Luxeon LED montati su metal core PCB, che altro non è che un PCB con un primo strato d'alluminio col compito di minimizzare la resistenza termica tra la giunzione del LED e l'ambiente.

Con l'appellativo Luxeon Power Light Sources si vuole indicare una gamma di prodotti plug and play che LumiLEDs vende già pronti per essere utilizzati nel campo dell'illuminotecnica; all'utente non resta che alimentare il dispositivo e godersi la luce.

I prodotti presenti in questa gamma si distinguono essenzialmente in tre tipi: Arrays, Rings and Floods.



Figura 3.29 Il Luxeon Array, I Luxeon Ring e il Luxeon Flood

L'Array è composto da una serie di sei paralleli, per un totale di 12 LED emitter da 1 W, 250 Lm di flusso luminoso tipico totale e dimensioni 29 * 3 cm; il costo si aggira intorno ai 126€ per un costo equivalente di 1.98 Lm/€.

Il Ring è disponibile in versione da 12 e da 6 LED e lo schema elettrico è analogo al precedente. Il flusso tipico è di 250 Lm per il ring 12 e 125 Lm per il ring 6; i diametri degli anelli sono di 14 e 8 cm fatti apposta per entrare uno nell'altro nel caso si vogliano

utilizzare in coppia. I costi si aggirano intorno ai 155€ per il Ring 12 e agli 89€ per il Ring 6, per un costo equivalente rispettivamente di 1.62 Lm/euro e 1.4 Lm/euro.

Il Flood è disponibile in versione da 18 e da 12 LED, nel primo il parallelo è fatto non da due ma da tre LED, mentre lo schema del Flood 12 è analogo a quello dell'Array. Per entrambi le dimensioni sono 65 * 62 mm. I flussi luminosi risultano rispettivamente di 450 Lm (200€) e 300 Lm (133€), per un costo equivalente di 2.25 Lm/€ per entrambi. Vi è da precisare che per i Flood bisogna montare un dissipatore prima di utilizzarli se non si vogliono danneggiare i LED, cosa che per gli Array e i Ring è consigliata ma non necessaria.

Sia gli Array che i Ring che i Flood sono costituiti da Luxeon Emitter da 1 Watt e provvisti d'ottica PMMA per la focalizzazione del fascio.

Per maggiori informazioni sulle caratteristiche elettriche, termiche e spettrali si consultino i rispettivi datasheet.

Questi oggetti trovano oggi tipiche applicazioni nell'illuminazione decorativa, nell'accentuazione di particolari architetture, nell'illuminazione per intrattenimento, nella segnaletica stradale negli illuminamenti per il traffico e nell'illuminamento da interno ed esterno di ambienti commerciali.

3.7.2 Luxeon Emitter: massima personalizzazione

Nel caso si sia interessati a personalizzare al massimo il proprio prodotto a LED, la soluzione migliore consiste nell'acquistare i soli LED Luxeon Emitter.



Figura 3.30 Varie Tipologie di LED Luxeon Emitter

Anche per questi LED come per gli Star (vedi sotto) esistono molte combinazioni di colori, pattern di emissioni e ottiche per i vari utilizzi. Il LED ha diametro esterno di circa 1 cm.

La versione da 1 W si alimenta con correnti di 350 mA, dà un flusso di 25 Lm e il costo si aggira intorno ai 9 euro, per un costo equivalente di 2.77 Lm/€.

La versione da 3 W si alimenta con correnti fino a 1000 mA, dà un flusso massimo di 80 Lm e il costo si aggira intorno ai 12 euro, per un costo equivalente di 6.67 Lm/€.

Si fa però notare la grossa differenza nel tempo di vita tra le versioni a 1 e 3 Watt:

LumiLEDs garantisce per la versione a 1 W, con funzionamento a corrente continua, che il flusso luminoso sarà sceso mediamente al 70% dopo 50K ore (se avremo avuto cura di non far superare alla giunzione i 90 °C).

Per quanto riguarda la versione a 3 W, questa calerà il suo flusso al 70% dopo 50K ore se fatta funzionare a 700 mA, mentre se fatta funzionare con 1000mA scenderà al 50% del flusso dopo 20K ore.

Tipiche applicazioni dove è già possibile trovare questo tipo di prodotti sono: luci per lettura (auto, bus...), lampade portatili, lampade da tavolo, luci per insegne di sicurezza per uscite di emergenza per segnaletica stradale, luci da giardino, illuminazioni decorative e retroilluminazione degli LCD.

3.7.3 Luxeon Star: il giusto compromesso per la nostra scelta.

L'offerta LumiLEDs risulta ancora più variegata e complessa nelle soluzioni a singolo LED.

Questo tipo di dispositivo prevede un LED Luxeon Emitter (da 1W o 3W) montato su un metal core PCB (MCPCB) appositamente sagomato che garantisce un buon raffreddamento termico, un'elevata flessibilità nell'assemblaggio di più LED e un'ottima accuratezza per il centramento della fonte luminosa. Per la personalizzazione del fascio sono disponibili varie tipi di ottiche e di filtri.



Figura 3.31 Varie Tipologie di LED Luxeon Star: quello più destra rappresenterà la scelta per il nostro prototipo.

Il Luxeon Star offre due pad per la saldatura della connessione anodica e due pad per la connessione catodica, il diametro esterno dell'esagono misura 2 cm, la versione da 1W viene alimentata a 350mA ed emette un flusso di 25 Lm, mentre la versione da 3W alimentata a 700 mA emette 65 Lm e alimentata a 1000mA emette fino a 80 Lm.

A seconda del tipo di connessione (saldatura con fili, connettori), del tipo di fascio e del tipo di fissaggio che si intende utilizzare, le versioni Star/C, Star/O, Star/IDC offrono all'assemblatore una scelta per ogni esigenza.

I LED Luxeon sono disponibili in quasi tutte le combinazioni di colore (white, warm white, green, cyan, blue, royal blu, red, red orange, amber), pattern del fascio (batwing, lambertian, side emitting) e potenza assorbita (1W o 3W o 5W).

Bisogna comunque sottolineare che sia le caratteristiche elettriche (tipo la massima corrente DC sopportabile, la massima corrente di picco sopportabile, la corrente media sopportabile, la massima temperatura di giunzione), sia le emissioni di flusso luminoso assoluto, sia le efficienze di emissione, sia le caratteristica tensione/corrente variano a seconda del tipo di LED, e soprattutto a seconda che il LED appartenga o alla famiglia dei Rosso/Ambra/Rosso Arancio o alla famiglia Bianco/BiancoCaldo/Verde/Ciano/Blue/Royal Blue¹¹.

Dato il costo non troppo elevato rispetto alla versione Emitter per il nostro prototipo a LED sono stati utilizzati 8 LED Luxeon Star.

La presenza dell'MCPCB sotto il LED e la predisposizione delle piazzole per la saldatura rendono il montaggio e la saldatura certamente più facile e flessibile rispetto alla soluzione Emitter.

¹¹ Per informazioni più dettagliate e aggiornate si consulti il sito www.luxeonstar.com e la relativa documentazione.

4. I sensori del Dispositivo

Come già visto in fase di definizione delle specifiche del nostro dispositivo si è ritenuto opportuno dotare il nostro sistema di tre sensori.

1. Il *sensore di presenza* indispensabile per individuare l'accesso nell'ambiente dove la nostra lampada andrà ad operare, sia dell'utente (modalità Automatica) sia di un eventuale intruso (modalità Antifurto).
2. Il *sensore di luminosità* col quale misurare il livello di luce presente nell'ambiente sia per comunicarlo all'interfaccia di controllo sia per spegnere la lampada nel caso (modalità automatica) vi sia sì la presenza di un utente ma il livello di luce sia già alto (questa soglia è impostabile a piacere dall'utente): risulta del tutto inopportuno mantenere la luce accesa anche in una bella giornata estiva solo perché all'interno del locale viene registrata presenza (ovviamente si intende a finestre aperte!). Non è raro, infatti, registrare che spesso quando si frequentano luoghi illuminati con apparecchi che integrano il sensore di presenza, la lampada si accenda anche quando non ce ne sia alcun bisogno (vedi, ad esempio, corridoi delle strutture pubbliche...)
3. Il *sensore di temperatura* visto che il soffitto, dove di solito si trova la lampada, è un luogo ideale per misurare la temperatura di un ambiente.

Queste tre grandezze potrebbero anche essere comunicate ad altri dispositivi di una rete domotica Bluetooth per un utilizzo del tutto indipendente.

4.1 Il sensore di presenza

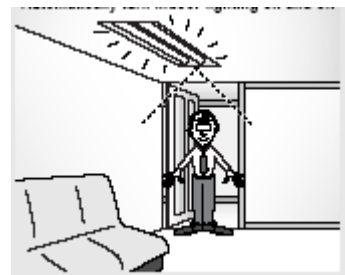


Figura 4.1 Il MiniPIR: un sensore di presenza a infrarossi passivi

La scelta del sensore Napion della Nais è stata suffragata dalle sue ridottissime dimensioni, dalle sue ottime prestazioni in termini di sensibilità e dalla sua circuiteria elettronica on board che ci dà la possibilità di collegarlo direttamente al micro senza richiedere l'ausilio di altri componenti.

Questo sensore rientra nella categoria dei rilevatori passivi all'infrarosso (il suo nome commerciale è "Mini PIR" che sta per Miniaturized Passive Infrared Rivelator).

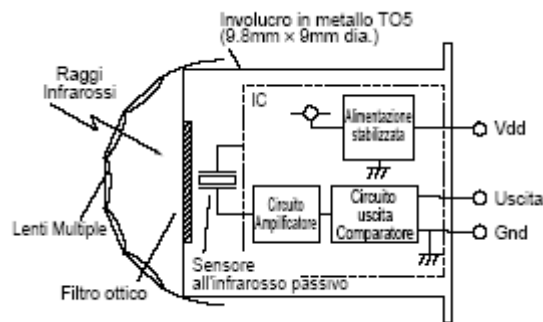


Figura 4.2 Diagramma a Blocchi del MiniPIR

Questo rilevatore ad infrarossi passivi miniaturizzato contiene un sensore piroelettrico posto dietro una lente di Fresnel a 16 elementi (5 assi ottici) ed è capace di percepire il calore irradiato da una persona.

Le variazioni di tensione rilevabili ai capi dell'elemento sensibile vengono amplificate da un circuito interno e poi da un preciso comparatore che consente di ottenere un'uscita (OUT) normalmente bassa che passa allo stato logico 1 in caso di rilevazione di movimento.

Esteriormente il sensore si presenta come un piccolo ditale da sarto, che misura solo 11 mm di diametro alla base e 9 all'inizio della cupola posta sulla sommità, ed è alto meno di 15 mm; dispone di soli tre piedini (uscita, positivo e negativo di alimentazione) è dunque ideale per gli impieghi dove la miniaturizzazione è determinante e l'oggetto deve apparire il meno possibile.

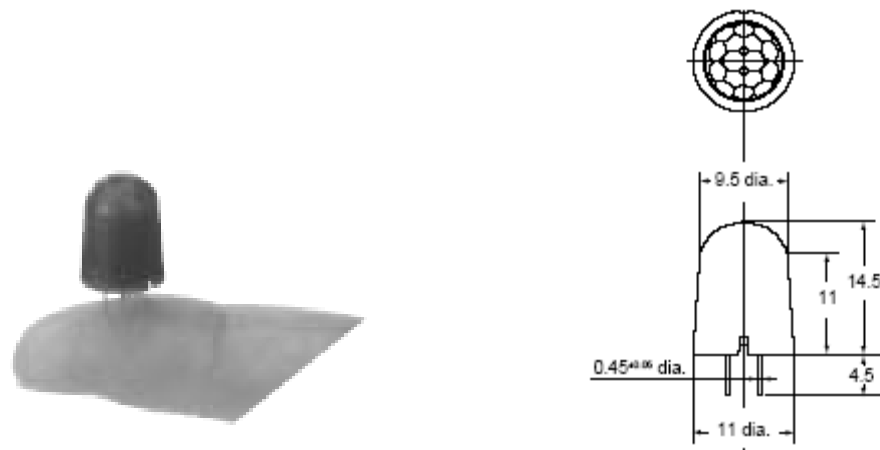


Figura 4.3 Le Dimensioni del MiniPIR

L'alimentazione deve essere una tensione continua compresa fra 3 e 6 V (l'assorbimento non supera i 300 μ A con l'uscita a riposo) e stabilizzata: ciò non tanto per l'integrità del componente, che resiste a disturbi istantanei di 200 V, quanto per garantirne un funzionamento preciso degli stati interni.

3. Caratteristiche elettriche (Con temperatura ambiente = 25°C e tensione nominale 5V)

1. Uscita digitale

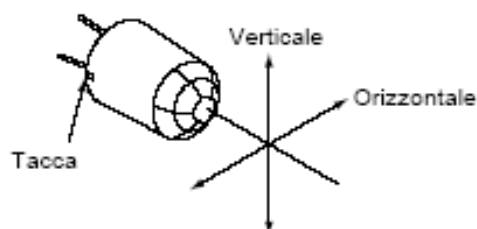
Caratteristiche			Simbolo	Valori nominali	Condizioni di misura
Tensione di esercizio nominale	Minima		Vdd	3.0 V DC	
	Massima			6.0 V DC	
Assorbimento nominale (in standby) ^{*Nota}	Tipica		Iw	170 μ A	Iout = 0
	Massima			300 μ A	
Uscita (in rilevamento)	Corrente	Massima	Iout	100 μ A	Vout \geq Vdd-0.5
	Tensione	Minima	Vout	Vdd-0.5	Con uscita aperta
		Massima		Vdd (come la tensione di esercizio)	
Tempo di stabilizzazione del circuito	Tipica		Twu	7 s	
	Massima			30 s	

Nota: La corrente assorbita in stato di rilevamento è la somma della corrente assorbita in standby e della corrente in uscita.

Figura 4.4 Caratteristiche Elettriche del MiniPIR

Il terminale OUT commuta da 0 V ad un livello (1 logico) pari al potenziale di alimentazione diminuito di un massimo di 0,5 V: alimentando il sensore con 3 V, otteniamo un'uscita di poco superiore ai 2,5 V.

L'angolo di copertura del sensore è di 100° in orizzontale e di 82° in verticale; la distanza di rilevamento si aggira intorno ai cinque metri, in ogni direzione tra le predette angolazioni.



1. Capacità di rilevamento

Caratteristiche		Tipo standard
Campo di rilevamento nominale ^{*Nota 1}		5m (Max.)
Ampiezza campo di rilevam.	Orizzontale ^{*Nota 2}	100°
	Verticale ^{*Nota 2}	82°
	Zone di rilevamento ^{*Nota 3}	64 zone

Figura 4.5 Capacità di Rilevamento del MiniPIR

Per essere più precisi il sensore suddivide l'area di osservazione in tante sotto zone: il diagramma sottostante mostra una sezione trasversale delle varie "Detection Zone". L'attraversamento di un corpo, con temperatura differente da quella di background in queste "Detection Zone", comporterà la rilevazione di presenza.

CAPACITÀ DI RILEVAMENTO

1. Tipo standard

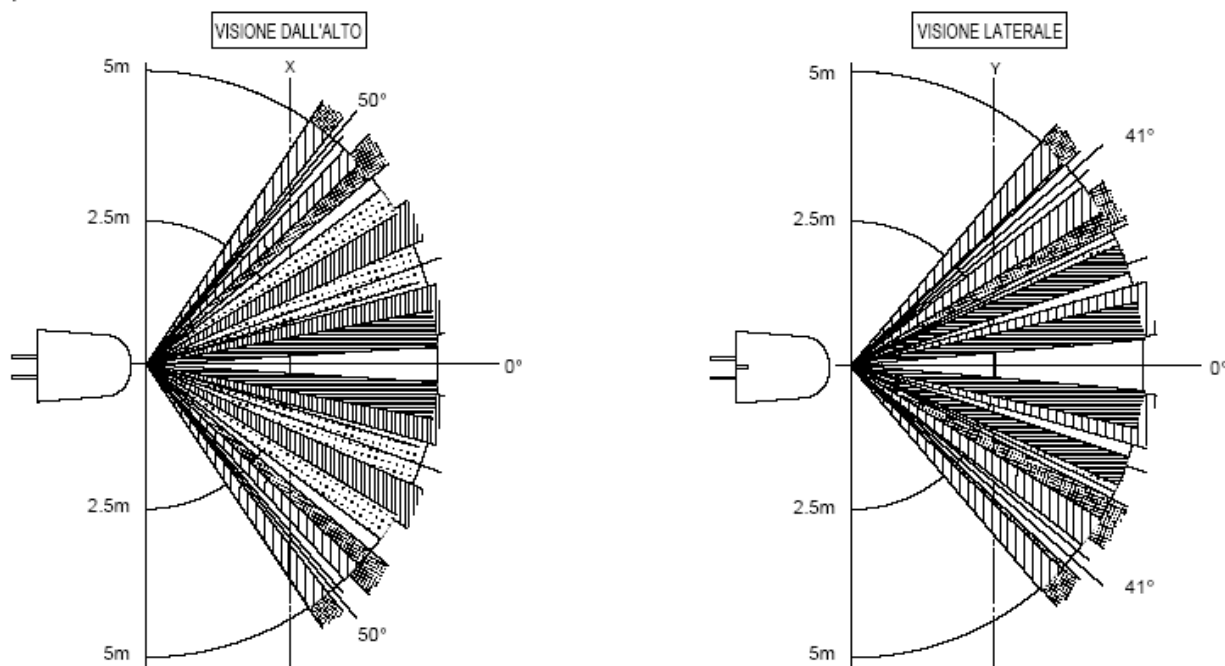


Figura 4.6 Sezioni Trasversali delle "Detection Zones"

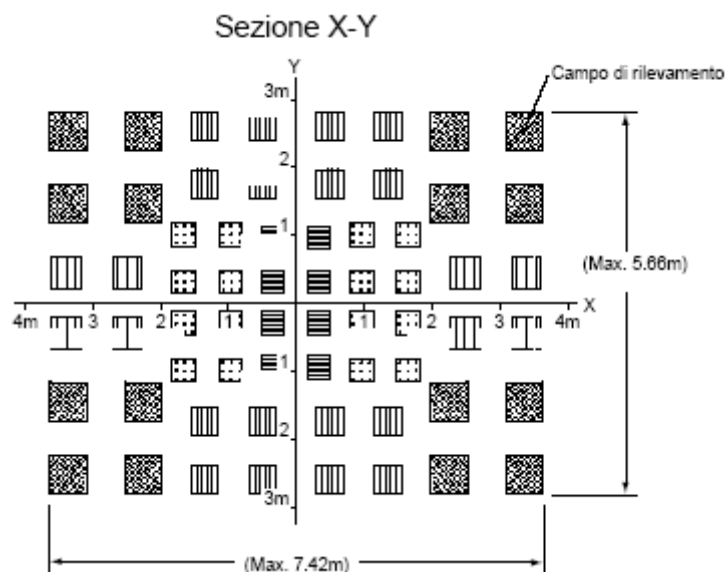


Figura 4.7 Sezione X-Y delle “Detection Zones”

Le diverse coloriture delle “Detection Zone” sono indicative delle varie proiezioni delle 16 lenti con singolo punto focale e cinque assi ottici.

Per quanto riguarda la velocità di movimento rilevata, varia da 30 cm fino a 2 metri al secondo.

Va poi ricordato che l’elemento piroelettrico in sé è capace di rilevare corpi la cui temperatura sia diversa dalla sua di almeno 3° C.



Figura 4.8 Rilevazione di un Corpo a Temperatura Diversa dal Background

Sempre in tema di temperatura, il componente opera senza problemi tra -20 e 60 °C, un campo sufficientemente vasto da permetterne l’utilizzo sia all’interno che all’esterno anche se, in quest’ultimo caso è necessario curare l’impermeabilizzazione dei terminali del PIR.

2. Valori nominali massimi (Con temperatura ambiente di 25°C)

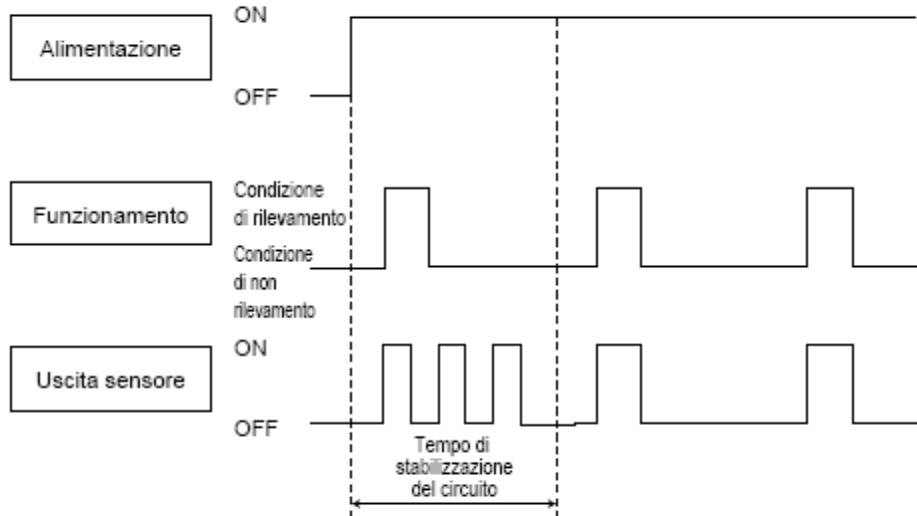
Caratteristiche	Valori nominali
Tensione di alimentazione	da -0.3 a 7 V DC
Temperatura ambientale consentita	da -20 a 60°C
Temperatura di immagazzinaggio	da -20 a 70°C

Figura 4.9 Valori Nominali Massimi per il MiniPIR

Un particolare rilevante per l’uso è che il sensore richiede un tempo di assestamento (stabilizzazione termica) variabile fra 7 e 30 secondi, ragion per cui il nostro microprocessore ne dovrà ignorare l’uscita in questa fase iniziale, durante la quale è facile il verificarsi di false rivelazioni.

[Diagramma temporale]

1) Uscita digitale



Note: Tempo di stabilizzazione del circuito: 30s max. (45s max. per la distanza di lavoro 10m).
Dopo aver fornito l'alimentazione, l'uscita del sensore non assume la condizione ON o OFF finché non è conclusa la fase di stabilizzazione indipendentemente dal rilevamento o meno di oggetti.

Figura 4.10 Stabilizzazione Termica del MiniPIR

Il contenitore del componente è doppio, perché in realtà l'involucro esterno, di materiale plastico (polietilene), è la lente; internamente vi è il corpo vero e proprio, un cilindro metallico grande quanto un transistor in case TO-5, avente sulla sommità (opposto ai terminali) un foro dal quale si affaccia l'elemento piroelettrico.

E' proprio la struttura metallica a garantire un efficace schermatura, un'immunità ai disturbi radioelettrici che evita false commutazioni anche se si avvicina una fonte RF, quale l'antenna di un cellulare, fino a 2 cm.

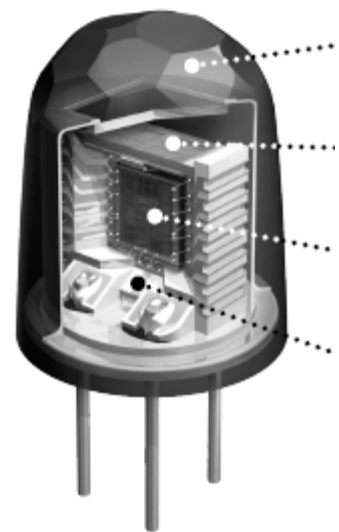
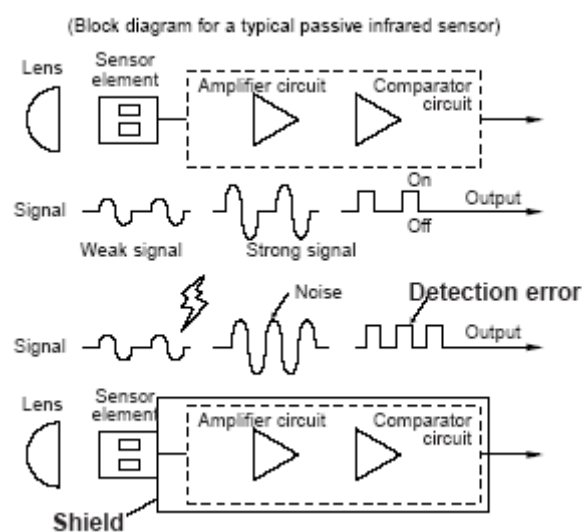


Figura 4.11 Robustezza del Sensore nei Confronti dei Disturbi

4.2 Il sensore di luminosità

Un sensore che si presenta ideale per la nostra applicazione è il TSL235R prodotto da TAOS, divisione optoelettronica di Texas.

Il TSL235R “Light-to-Frequency Converter” unisce su un singolo circuito integrato CMOS, un fotodiodo e un convertitore corrente-frequenza.

Functional Block Diagram



Figura 4.12 Diagramma a Blocchi del Sensore di Luminosità

Anche in questo caso, come per il MiniPIR, l’uscita è un onda quadra con frequenza direttamente proporzionale all’intensità di luce (irradianza) sul fotodiodo.

La sua uscita digitale gli permette di interfacciarsi (con un solo collegamento) direttamente e semplicemente ad un microcontrollore.

Il dispositivo ha subito un processo di compensazione con la temperatura (150 ppm/°C) nel range [320 nm 700 nm] ultravioletto – visibile, mentre risulta sensibile in tutto il range [320 nm 1050 nm].

Il TSL235R è pensato per funzionare in un range da -25 °C fino a 70 °C, più che sufficiente per consentirne un utilizzo sia per applicazioni indoor che outdoor.

Il dispositivo, fornito in un comodo package plastico con tre pin (V_{DD}, GND, OUT), mostra sulla sua sommità una lente integrale per meglio raccogliere il flusso luminoso circostante; può essere alimentato sia a 5 V per contesti TTL compatibili, sia con una tensione di soli 2.7 V per contesti Low-Power; il suo assorbimento di circa 2 – 3 mA, garantisce una dissipazione di potenza non superiore a 15 mW.

Il dato che maggiormente fa di questo componente un ottimo sensore è l’alta linearità tra frequenza di uscita e Irradianza in ingresso, anche in tutto il suo range che va da qualche Hz per irradianze di 0.001 μW/cm² fino a 500 KHz per irradianze di 500 μW/cm².

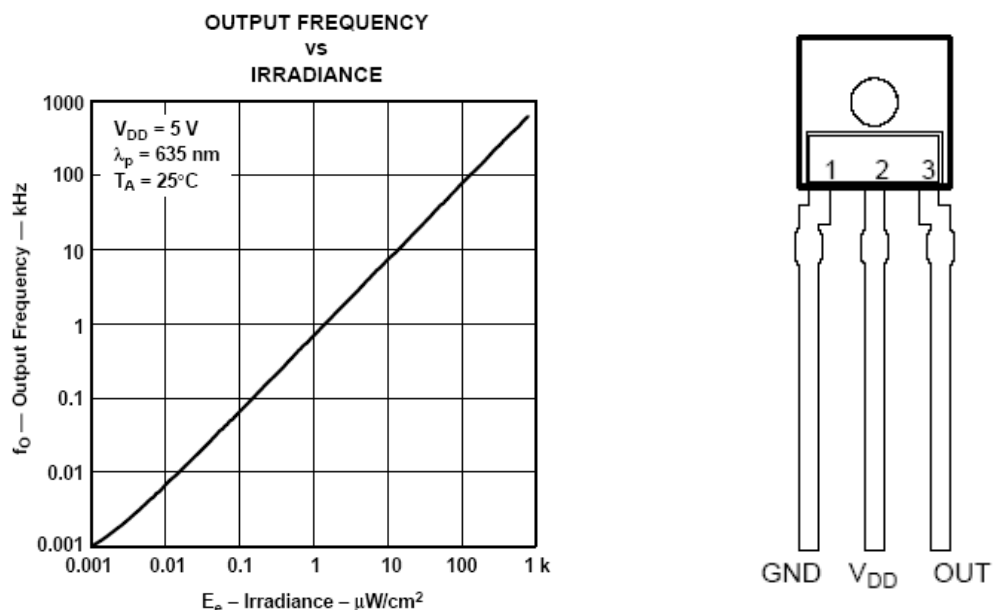


Figura 4.13 Diagramma della Frequenza di OUT rispetto all’Irradianza sul Sensore

Electrical Characteristics at $V_{DD} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
I_{DD} Supply current			2	3	mA
Full-scale frequency [‡]		500			kHz
Temperature coefficient of output frequency	Wavelength < 700nm		± 150		ppm/ $^\circ\text{C}$
k_{SVS} Supply-voltage sensitivity	$V_{DD} = 5\text{ V} \pm 10\%$		± 0.5		%/V

[‡] Full-scale frequency is the maximum operating frequency of the device without saturation.

Operating Characteristics at $V_{DD} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
f_O Output frequency	$E_e = 430\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$, $\lambda_p = 635\text{ nm}$	200	250	300	kHz
	$E_e = 0\text{ }\mu\text{W}/\text{cm}^2$		0.4	10	Hz
Nonlinearity [§]	$f_O = 0\text{ kHz to }10\text{ kHz}$		$\pm 0.1\%$		%F.S.
	$f_O = 0\text{ kHz to }100\text{ kHz}$		$\pm 0.2\%$		%F.S.
Step response to full-scale step input		1 pulse of new frequency plus $1\text{ }\mu\text{s}$			

Figura 4.14 Caratteristiche Elettriche ed Operative del Sensore

La frequenza di buio oscilla intorno a qualche decimo di Hz (0.4 Hz a 25°C).

Le non linearità tipiche oscillano tra lo 0.1 % nel range [0 –10 KHz] e lo 0.2 % nel range più ampio [0 – 100 KHz], mentre la massima frequenza operativa, senza che il dispositivo saturi, si aggira intorno ai 500 KHz.

Questi valori sono ampiamente al di sopra a quelli necessari alla nostra applicazione. Infatti, una buona illuminazione in una stanza è rappresentata da 200 – 300 Lm/m^2 (lux), che a calcoli fatti non dovrebbe comportare un'uscita superiore ai 100 KHz.

Nella nostra applicazione un filtro ottico risulterebbe appropriato.

Notiamo, infatti, che la risposta spettrale del fotodiodo risulta particolarmente sensibile alle lunghezze d'onda dell'infrarosso e che in questa zona il Coeff. di Temp. dell'uscita è particolarmente critico; poiché siamo interessati solo alla porzione dello spettro visibile (a noi non interessa misurare l'irradianza, parametro radiometrico, bensì la luminanza, parametro fotometrico) un filtro ottico andrebbe a stabilizzare l'uscita nei confronti della temperatura.

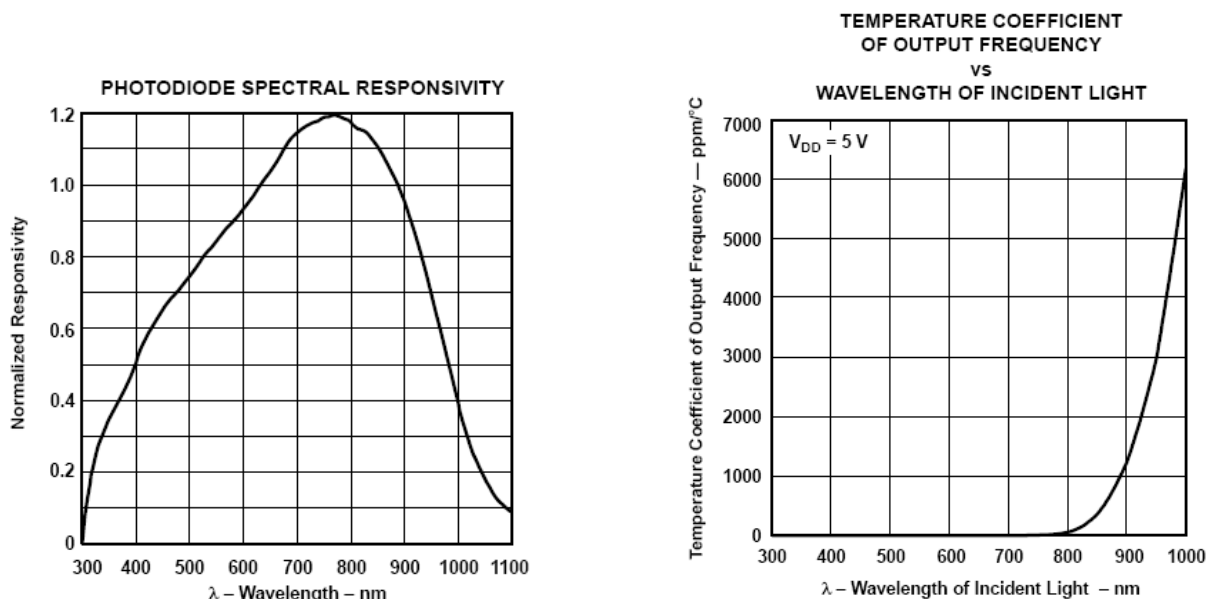
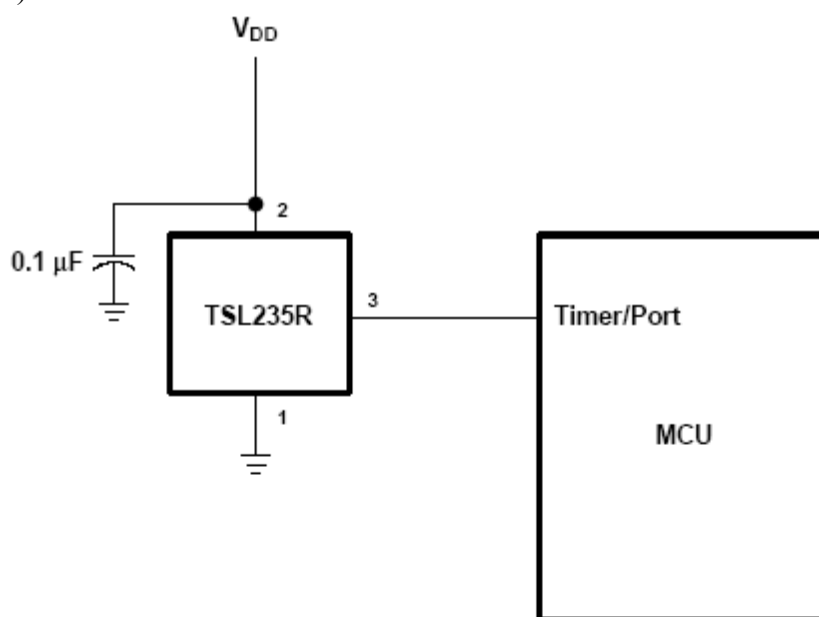


Figura 4.15 Risposta Spettrale del Fotodiodo e Coeff. Di Temp. dell' Uscita.

Abbiamo già rilevato come questo componente sia particolarmente adatto per creare un interfaccia molto semplice con il nostro microcontrollore: l'interfaccia è immediata, basta un solo collegamento tra l'OUT del sensore e il pin d'ingresso del timer del micro (vedi figura 4.16).



Typical TSL235R Interface to a Microcontroller

Figura 4.16 Collegamento Diretto tra il Sensore e il Microcontrollore

La scelta del tipo di tecnica da adottare per l'acquisizione del valore di luminosità dal sensore varia secondo le esigenze del progettista.

Nel caso si voglia monitorare livelli di luce rapidamente variabili con un rate d'acquisizione molto alto allora bisogna propendere per una misura di periodo dell'onda quadra; nel caso si sia interessati a misure con maggior risoluzione ed accuratezza, ma con rate d'acquisizione più bassi, allora la soluzione migliore è una misura di frequenza (contando i fronti in salita dell'onda quadra in ingresso su un periodo prestabilito di tempo).

In quest'ultimo caso, la risoluzione risulta limitata solamente dal numero di bit del registro contatore e dal periodo di tempo massimo che siamo disposti ad accettare come tempo d'acquisizione.

La nostra applicazione non è particolarmente esigente da questo punto di vista; non c'interessa molto conoscere con estrema esattezza e con alti rate d'acquisizione il livello di luce presente nella stanza.

Nonostante il nostro micro ci consentisse tranquillamente di adottare l'una o l'altra soluzione (visto il suo basso valore di Tclk rispetto al periodo più breve che il sensore è in grado generare), si è scelto di acquisire il valore attraverso una misura di frequenza, che, nel periodo d'acquisizione di uno s, permette anche di mediare sia le variazioni casuali che quelle ad alta frequenza risultanti dal rumore presente nel segnale luminoso.

4.3 Il sensore di Temperatura

I sensori di temperatura rappresentano di certo la categoria di sensori più vasta. Esistono in commercio decine e decine di tipologie di sensori molto diversi tra loro e che si addicono alle esigenze più disparate. Se solo si prova a sfogliare l'ottimo Handbook sui sensori di temperatura della National Semiconductor non è difficile trovare il sensore adatto alle esigenze di chiunque: non solo ne esistono di varie risoluzioni, con uscite digitali o analogiche e con ogni tipo d'interfaccia (SPI, Two Wire Interface, PWM ...), ma facenti uso di principi fisici anche completamente diversi tra loro.

Anche in questo caso si è ricercata la massima compattezza e minimo consumo senza trascurare le caratteristiche d'accuratezza.

Da questo punto di vista i sensori MAX6576/MAX6577 della MAXIM risultano particolarmente opportuni.

Questi sensori sono disponibili in package "save-spacing" 6-pin SOT23 e per quanto miniaturizzati (3 mm * 3 mm) risultano quasi scomodi da maneggiare...

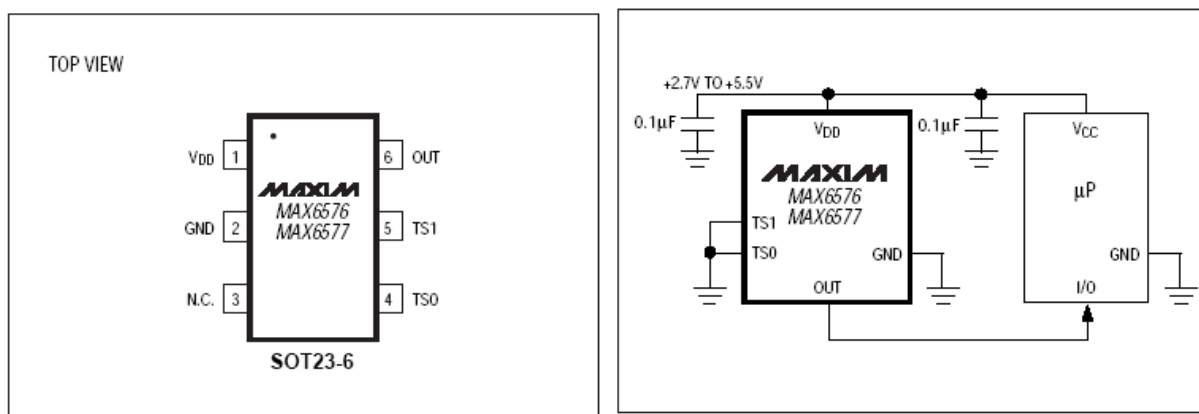


Figura 4.17 Il Sensore di Temperatura della Maxim

Ancora una volta siamo riusciti a cavarcela con un'interfaccia a singolo filo.

In questo caso è la temperatura a variare il periodo o la frequenza (a seconda del modello 76 o 77) in uscita dal sensore. Entrambi i sensori hanno un'uscita "single-wire" che minimizza il numero di piedini necessari per l'interfaccia col nostro processore, come visibile in figura

Cosa davvero assai utile è la possibilità di poter scegliere il range di frequenza/periodo dell'onda quadra in uscita collegando i due piedini TS0 e TS1 all'alimentazione oppure a massa:

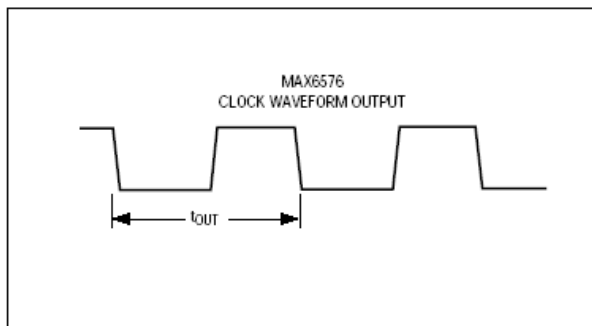


Figure 1. MAX6576 Timing Diagram

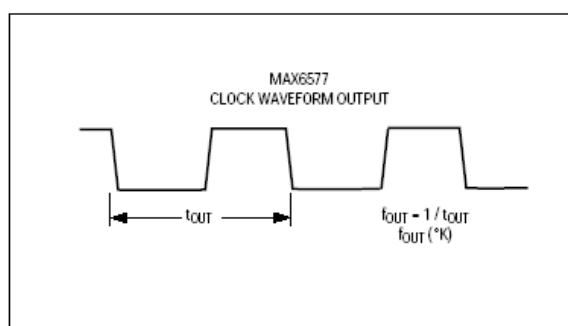


Figure 2. MAX6577 Timing Diagram

Figura 4.18 Forma d'onda in uscita dal Sensore.

Table 1. MAX6576 Time-Select Pin Configuration

TS1	TS0	SCALAR MULTIPLIER ($\mu\text{s}/^{\circ}\text{K}$)
GND	GND	10
GND	V _{DD}	40
V _{DD}	GND	160
V _{DD}	V _{DD}	640

Note: The temperature, in $^{\circ}\text{C}$, may be calculated as follows:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{\text{period}(\mu\text{s})}{\text{scalar multiplier}(\mu\text{s}/^{\circ}\text{K})} - 273.15^{\circ}\text{K}$$

Table 2. MAX6577 Time-Select Pin Configuration

TS1	TS0	SCALAR MULTIPLIER (Hz/ $^{\circ}\text{K}$)
GND	GND	4
GND	V _{DD}	1
V _{DD}	GND	1/4
V _{DD}	V _{DD}	1/16

Note: The temperature, in $^{\circ}\text{C}$, may be calculated as follows:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \frac{\text{frequency}(\text{Hz})}{\text{scalar multiplier}(\text{Hz}/^{\circ}\text{K})} - 273.15^{\circ}\text{K}$$

Figura 4.18 Relazione Temperatura-Frequenza (o Periodo) al variare del settaggio dei pin TS1 e TS2.

L'accuratezza intorno ai 25 $^{\circ}\text{C}$ risulta molto buona $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$, con una distribuzione pari a:

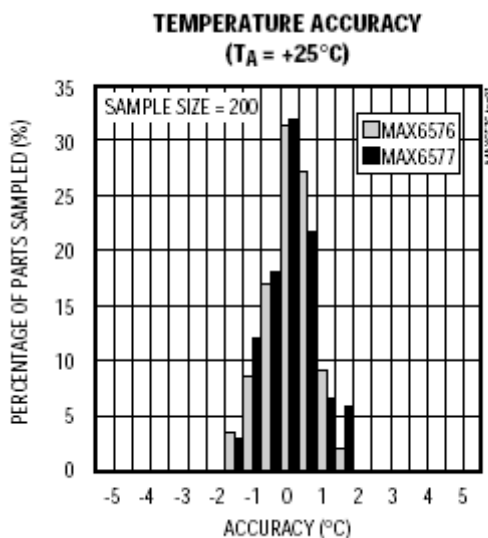


Figura 4.19 Accuratezza del Sensore

Il componente opera con tensioni d'alimentazioni tra 2.7 e 5.5 V, permettendogli di essere utilizzato sia in sistemi TTL compatibili a 5 V che in sistemi Low-Power a 3 V.

Il suo assorbimento, anche se molto sensibile alla temperatura, in condizioni standard non supera tipicamente i 140 μA ; la sua dissipazione è limitata a qualche centinaia di μW .

Come per il sensore di luminosità si è preferita la tecnica di misura della frequenza per i motivi già visti precedentemente ed anche a causa di un comportamento più accurato del sensore (con uscita in frequenza) al variare della temperatura di misura e di un minor consumo di quest'ultimo, anche se di soli 10 μA :

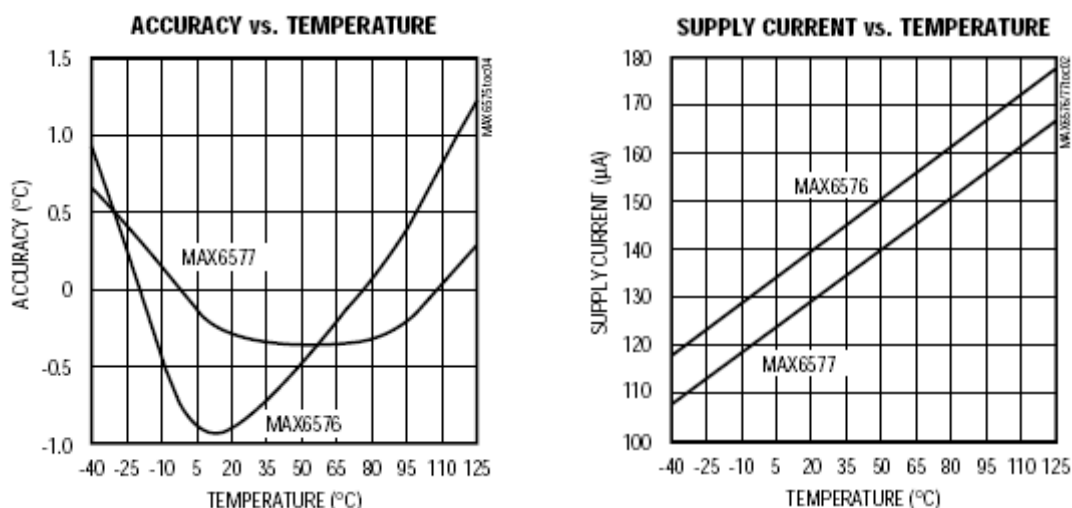


Figura 4.20 Accuratezza e Dissipazione al variare della Temperatura per i Sensori MAX6577/76

Inoltre il MAX6577 risulta avere ampiezze di picco di rumore interno più basse:

Table 3. Typical Peak Noise Amplitude

PARAMETER	MAX6576				MAX6577			
Scalar Multiplier	10	40	160	640	4	1	1/4	1/16
Noise Amplitude (°C)	±0.38	±0.17	±0.11	±0.094	±0.13	±0.066	±0.040	±0.028

Figura 4.21 Ampiezza di Rumore in Uscita per i Sensori MAX6577/76

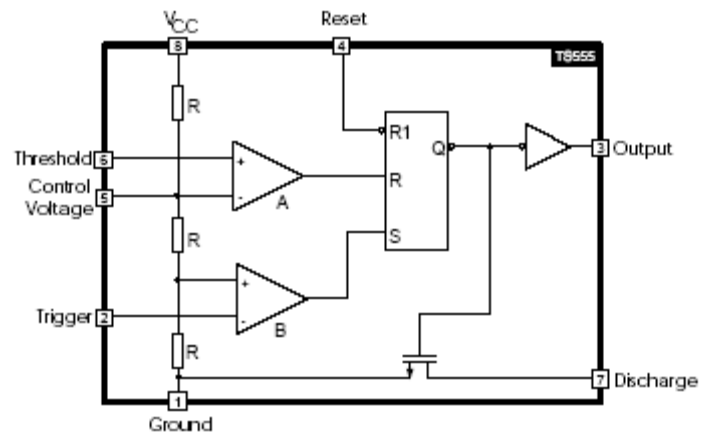
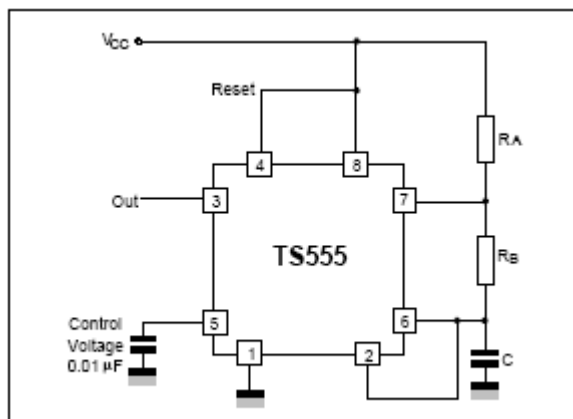
4.4 Il convertitore luminosità frequenza

Nonostante il componente Taos TSL235R sia stato identificato come la soluzione più adatta alla nostra applicazione, si sono riscontrati grossi problemi nella sua reperibilità. Non è stato possibile ottenere né campioni gratuiti né campioni a pagamento (stock minimo di acquisto: 1000 pezzi). Ciò ci ha spinto a cercare una soluzione efficace ottenibile attraverso comuni componenti elettronici.

Probabilmente la soluzione più banale in questo caso sarebbe quella di usare un partitore di due resistenze di cui una sia una fotoresistenza e di misurare la tensione intermedia collegandola all'ingresso del convertitore A/D del micro.

In realtà, la soluzione che ci è sembrata più efficace è la seguente, e non risulta poi così differente da quella proposta nel componente suddetto.

Si è deciso di misurare l'intensità luminosa della stanza attraverso una fotoresistenza inserita in un circuito con timer 555 in configurazione multivibratore astabile.



$$f = \frac{1}{T} = \frac{1.44}{(RA + 2RB)C}$$

$$D = \frac{RB}{RA + 2RB}$$

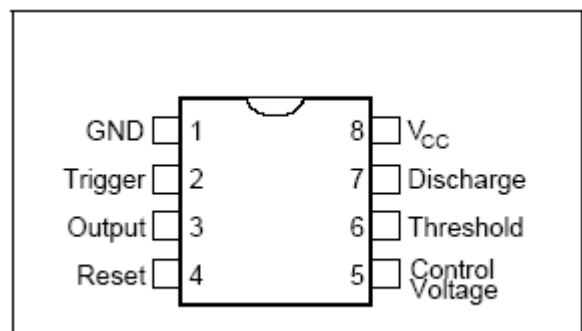


Figura 4.21 Il Timer 555 in configurazione Multivibratore Astabile

Il Timer della ST utilizzato presenta un basso consumo di potenza 110 µA a Vcc 5V e 90 µA con Vcc 3V, un'alta frequenza massima di funzionamento 2.7 MHz, un'altissima impedenza di ingresso che consente di minimizzare al meglio i valori delle capacità di timing, bassi spikes di corrente di alimentazione in corrispondenza dei fronti di variazione delle uscite (quindi rende possibile usare condensatori di "decoupling" di basso valore capacitivo) ed ovviamente risulta pienamente compatibile con i livelli logici del nostro microcontrollore.

L'onda rettangolare presente sul piedino di uscita 3 dell'integrato TS555 ha frequenza inversamente proporzionale alle resistenze RA e RB (vedi relazione di sopra); la fotoresistenza ha una resistenza che a sua volta è inversamente proporzionale alla luminosità rilevata. Ne risulta allora che all'aumentare della luminosità la fotoresistenza diminuisce la sua resistenza e l'onda rettangolare aumenta la sua frequenza.

Essendo la frequenza dell'onda rettangolare maggiormente sensibile alla resistenza RB che alla resistenza RA risulta ovvio che la posizione migliore per la fotoresistenza sia RB.

Nel caso si desideri avere a che fare con un onda quadra invece che con un onda rettangolare è possibile dimensionare le resistenze in modo che $RB \gg RA$, ovvero bisogna garantire che, anche nel caso di massimo illuminamento previsto, la resistenza RB risulti comunque decisamente più grande della resistenza RA.

Misure sperimentali dimostrano che in condizioni di illuminazione domestica i valori della fotoresistenza non scendono mai sotto l'ordine dei KΩ, si è così scelto per RA il valore di 670 Ω.

Valori ancora più bassi avrebbero fatto scorrere in RA, durante la fase di scarica del condensatore (pin 7 a massa), correnti troppo elevate determinando un inutile dissipazione di potenza e un pericoloso riscaldamento del dispositivo: la corrente in questo modo è

limitata a $5V/670\ \Omega$ (7,5 mA). Per un discorso analogo si è preferito inserire in serie alla fotoresistenza una resistenza da $380\ \Omega$ in modo che la massima corrente in RB resti comunque limitata a $5V/370\ \Omega$ (13 mA), anche nel caso che il dispositivo sia illuminato direttamente con la massima luce solare (100.000 lux) e la resistenza scenda all'ordine degli Ohm (vedi datasheet della fotoresistenza).

Quindi la RB dello schema sopra esposto in realtà rappresenta la serie della fotoresistenza e di una resistenza di protezione da $370\ \Omega$.

Scegliendo per il condensatore C un valore di $1\ \mu F$, misure di laboratorio hanno rilevato variazioni di frequenza che vanno da circa 0,5 Hz nel caso di buio completo (sensore coperto interamente con una scatola) a circa 130/140 Hz nel caso di illuminamento diretto dei neon con il sensore poggiato sul tavolo a circa due metri.

Avendo scelto come strategia di misura della frequenza quella di aprire una finestra temporale di un secondo e contare i fronti in salita dell'onda quadra con il timer del micro configurato come contatore (proprio come abbiamo fatto anche per il sensore di temperatura) ne consegue che un timer ad 8 bit risulta più che sufficiente; risoluzioni superiori sarebbero del tutto inutili data la continua variazione di frequenza del sensore di almeno qualche Hz (dovuta al rumore e a fattori ambientali) anche in condizioni di apparente uniformità di illuminazione.

5. Realizzazione del Prototipo: “BlueLamp”.

5.1 Introduzione

Il prototipo di lampada multifunzionale a Led realizzata è stata denominata BlueLamp secondo la moda vigente nei dispositivi Bluetooth di far comparire nel nome l'aggettivo Blue.

Il sistema è stato sommariamente suddiviso in tre parti hardware: una di potenza, una di segnale e l'ultima contenente i Led Superluminosi.

1. La *prima scheda* (Parte di Potenza) genera sia l'alimentazione in corrente per i Led Superluminosi sia l'alimentazione in tensione per la scheda con la parte di segnale.
2. La *seconda scheda* (Parte di Segnale) contiene il microcontrollore, i sensori, un buzzer che simula la sirena di allarme e avverte della modifica del valore di luminosità, dei Led di segnalazione, una porta seriale per il collegamento (RS232) Bluetooth, un connettore a due fili per il collegamento con un'eventuale interfaccia Bluetooth a 5V, un connettore a sei pin per l'In-System Programming, un tasto di reset per il micro e il MOS di potenza per la PWM dei Led.
3. La *terza parte* è composta dai Led montati su un supporto di alluminio e accuratamente fissati, isolati tra loro e termicamente accoppiati all'alluminio sottostante con della pasta conduttrice.

Gli schematici dei suddetti circuiti sono stati realizzati con l'ausilio di Orcad Capture 9.1, mentre per il Layout il programma della stessa suite Orcad Layout Plus 9.1.

Il PCB costruito è stato realizzato con metodi hobbistici; nonostante ciò i risultati si sono rivelati molto soddisfacenti.

Infatti, dopo esserci procurati dei buoni master del Layout (stampa su pellicola fotografica con photoplotter) il processo di attacco e sviluppo ci ha condotto ad una risoluzione più che soddisfacente.

5.2 Parte di Potenza.

5.2.1 Osservazioni

Nonostante in commercio vi siano molti alimentatori specificatamente costruiti per questo tipo di Led si è deciso di costruirci autonomamente l'alimentazione sia per una questione di flessibilità di progetto sia per una questione di tipo economico. Data la bassa diffusione, al momento, di questo tipo di illuminazione e la sua applicazione in ambito non a basso costo, anche gli alimentatori ne risultano notevolmente costosi.

I Led sono costruiti in modo da dare le massime prestazioni tra 700 e 1000 mA. Infatti, emettono circa 60 Lm (a testa) nel primo caso e 80 Lm nel secondo. Verrebbe quindi voglia di pilotarli con corrente costante di 1 A.

In realtà bisogna anche considerare che maggiore è la corrente cui lavorano minore sarà il tempo di vita medio: è stato stimato che ad un uso continuo a 700mA dopo 50.000 ore si scende al 70% dell'intensità nominale iniziale, mentre con un uso a 1000 mA già dopo le 20.000 ore si scende al 50%.

Volendo preservare il più possibile le caratteristiche dei nostri Led (visto anche il loro costo) si è deciso di pilotarli con una corrente massima di 700 mA, che comunque potremo ancora parzializzare con la PWM del nostro micro.

5.2.2 Soluzione Circuitale.

Il circuito di potenza utilizzato è il seguente:

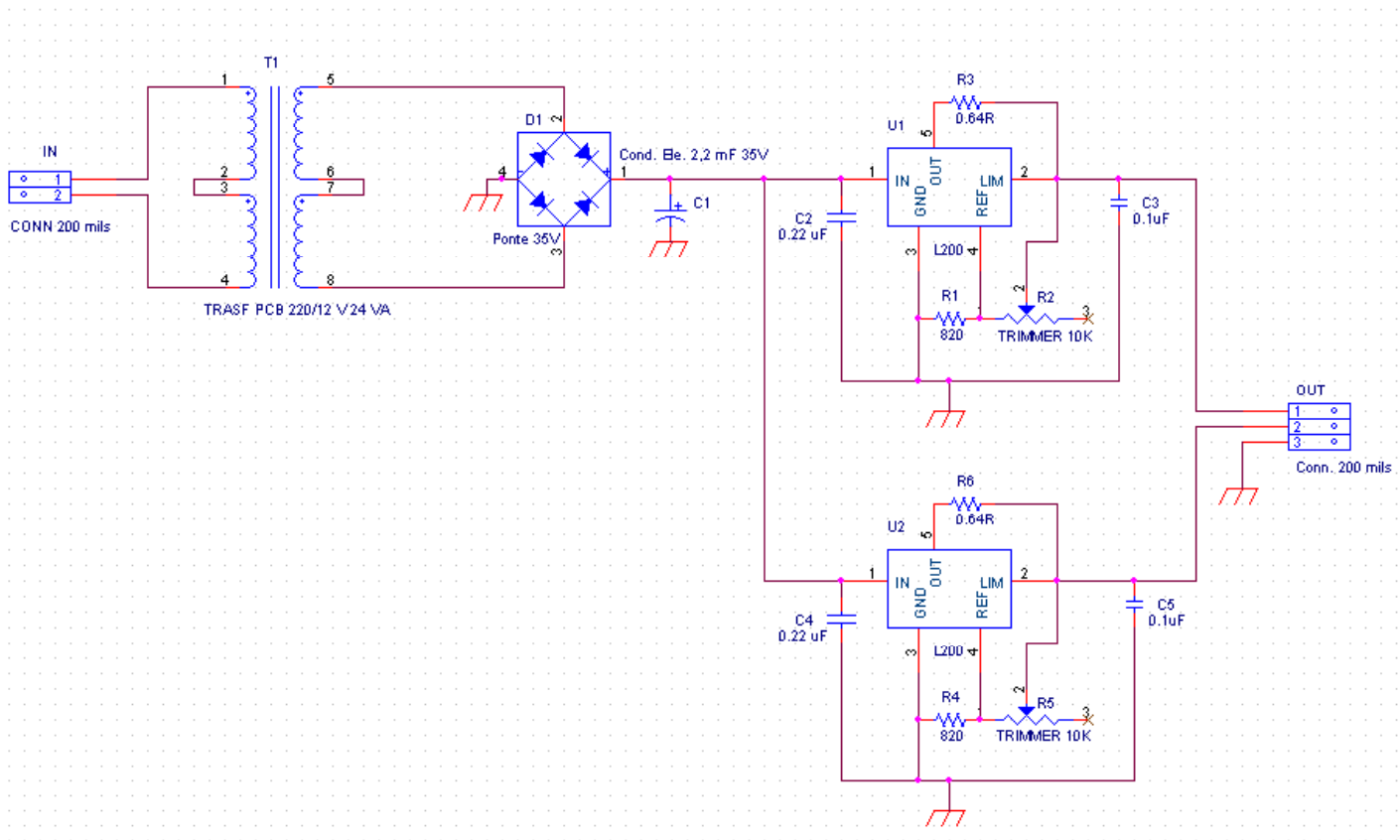


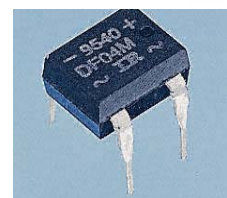
Figura 5.1 In Alto lo Schema Elettrico della Parte di Potenza; qui Accanto il Trasformatore, il Ponte e il Condensatore C1.

Il Trasformatore utilizzato può erogare una potenza di 24 VA, con un'uscita in corrente massima di 1 A, garantisce una perdita nel ferro massima di 1,8 W, un rendimento del 70%, un isolamento tra primario e secondario di 5 KV, un peso di 445 g ed è stato scelto a basso profilo per montaggio su PCB.

I suoi due primari da 115 V sono stati collegati in serie per un funzionamento alla tensione di rete di 230 V (con i primari in parallelo si potrebbe adattare il dispositivo a funzionare in quei paesi dove la tensione di rete è 115 V); anche i secondari sono stati collegati in serie per ottenere in uscita una tensione efficace di 24 V.

Il ponte DF005M della Fairchild può tranquillamente raddrizzare i 24 V (Maximum RMS Input Voltage 35 V) e sopportare la massima corrente nominale di 1 A del trasformatore (Average Rectified Forward current @ 40 °C 1,5 A); il picco di corrente transitoria è altresì ben sopportato (vedi grafico "Peak forward Surge Current").

Il condensatore elettrolitico da 2,2 mF garantisce un basso ripple di tensione in ingresso al regolatore. Sul condensatore avremo quindi una tensione continua (con un certo ripple) di circa $(12 + 12) * \sqrt{2} - 2,2$ (caduta sul ponte) ovvero 31 VDC.

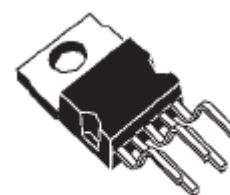


Il cuore della parte di potenza è rappresentato dall'integrato ST L200.

L' L200 è un regolatore monolitico regolabile di tensione e di corrente. Il suo punto di forza è la flessibilità e per convincersene basta consultarne la documentazione¹².

Tra le caratteristiche salienti elenchiamo le varie tipologie di protezioni: quella da corto circuito, quella da Overvoltage in ingresso (60 V, 10ms), quella in uscita con transistor in S.O.A. e quella da sovraccarico termico. Queste peculiarità rendono l'integrato **“virtually blow-out proof”**.

La bassa corrente di bias sul pin di regolazione, la bassa corrente di Standby e i buoni coefficienti di regolazione ne fanno un integrato di tutto rispetto.



Pentawatt®

Figura 5.2 L' Integrato L200

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_i	DC Input Voltage	40	V
V_i	Peak Input Voltage (10 ms)	60	V
ΔV_{i-o}	Dropout Voltage	32	V
I_o	Output Current	internally limited	
P_{tot}	Power Dissipation	internally limited	
T_{stg}	Storage Temperature	-55 to 150	°C
T_{op}	Operating Junction Temperature for L200C for L200	-25 to 150 -55 to 150	°C °C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
--------	-----------	-----------------	------	------	------	------

VOLTAGE REGULATION LOOP

I_d	Quiescent drain Current (pin 3)	$V_i = 20\text{ V}$		4.2	9.2	mA
e_N	Output Noise Voltage	$V_o = V_{ref}$ $B = 1\text{ MHz}$ $I_o = 10\text{ mA}$		80		μV
V_o	Output Voltage Range	$I_o = 10\text{ mA}$	2.85		36	V
$\frac{\Delta V_o}{V_o}$	Voltage Load Regulation (note 1)	$\Delta I_o = 2\text{ A}$ $\Delta I_o = 1.5\text{ A}$		0.15 0.1	1 0.9	% %
$\frac{\Delta V_i}{\Delta V_o}$	Line Regulation	$V_o = 5\text{ V}$ $V_i = 8\text{ to }18\text{ V}$	48	60		dB
SVR	Supply Voltage Rejection	$V_o = 5\text{ V}$ $\Delta V_i = 10\text{ V}_{pp}$ $f = 100\text{ Hz}$ (note 2) $I_o = 500\text{ mA}$	48	60		dB
ΔV_{i-o}	Droupout Voltage between Pins 1 and 5	$I_o = 1.5\text{ A}$ $\Delta V_o \leq 2\%$		2	2.5	V
V_{ref}	Reference Voltage (pin 4)	$V_i = 20\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA}$	2.64	2.77	2.86	V

Figura 5.3 Caratteristiche Elettriche del Regolatore di Tensione e Corrente L200 (Continua...).

¹² L200 Adjustable Voltage and Current Regulator, January 2000,ST e A Designer's Guide to the L200 Voltage Regulator, Application Note, ST

ΔV_{ref}	Average Temperature Coefficient of Reference Voltage	$V_i = 20\text{ V}$ $I_o = 10\text{ mA}$ for $T_j = -25\text{ to }125\text{ }^\circ\text{C}$ for $T_j = 125\text{ to }150\text{ }^\circ\text{C}$		-0.25 -1.5		mV/ $^\circ\text{C}$ mV/ $^\circ\text{C}$
I_4	Bias Current and Pin 4			3	10	μA
$\frac{\Delta I_4}{\Delta T \cdot I_4}$	Average Temperature Coefficient (pin 4)			-0.5		%/ $^\circ\text{C}$
Z_o	Output Impedance	$V_i = 10\text{ V}$ $I_o = 0.5\text{ A}$	$V_o = V_{ref}$ $f = 100\text{ Hz}$		1.5	m Ω

CURRENT REGULATION LOOP

V_{SC}	Current Limit Sense Voltage between Pins 5 and 2	$V_i = 10\text{ V}$ $I_5 = 100\text{ mA}$	$V_o = V_{ref}$	0.38	0.45	0.52	V
$\frac{\Delta V_{SC}}{\Delta T \cdot V_{SC}}$	Average Temperature Coefficient of V_{SC}				0.03		%/ $^\circ\text{C}$
$\frac{\Delta I_o}{I_o}$	Current Load Regulation	$V_i = 10\text{ V}$ $I_o = 0.5\text{ A}$ $I_o = 1\text{ A}$ $I_o = 1.5\text{ A}$	$\Delta V_o = 3\text{ V}$		1.4 1 0.9		% % %
I_{SC}	Peak Short Circuit Current	$V_i - V_o = 14\text{ V}$ (pins 2 and 5 short circuited)				3.6	A

Figura 5.3 Caratteristiche Elettriche del Regolatore di Tensione e Corrente L200.

La massima tensione d'ingresso (40 V) è tranquillamente al di sopra dei 31 VDC forniti al regolatore dal raddrizzatore. Il massimo Dropout Voltage di 32 V ci permette di regolare in basso la tensione d'uscita fino ai 2.85 V (valore minimo previsto per la regolazione in uscita), consentendoci, eventualmente, di alimentare la parte di segnale del nostro circuito anche a 3V.

Il nostro obiettivo è regolare in corrente l'alimentazione dei Led (700 mA) con un regolatore, e regolare in tensione l'alimentazione del circuito di segnale (5 o 3 V) con un altro regolatore.

Facciamo però subito un'osservazione. Il circuito per il regolatore programmabile in corrente (fig. 2), in realtà, altro non è che un caso particolare di quello di fig. 1; useremo allora per entrambi i casi il montaggio di fig.1.

In questo modo otterremo il massimo dal regolatore potendo regolare in entrambi i casi sia la tensione sia la corrente.

Figure 1. Programmable Voltage Regulator with Current Limiting

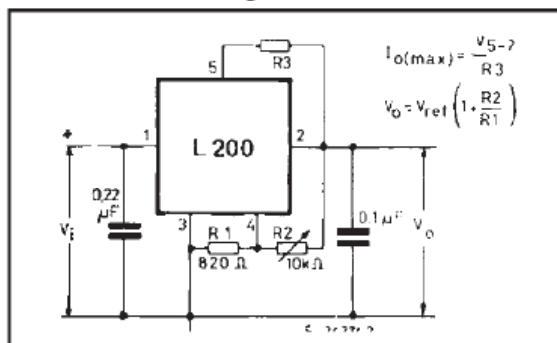


Figure 2. Programmable Current Regulator.

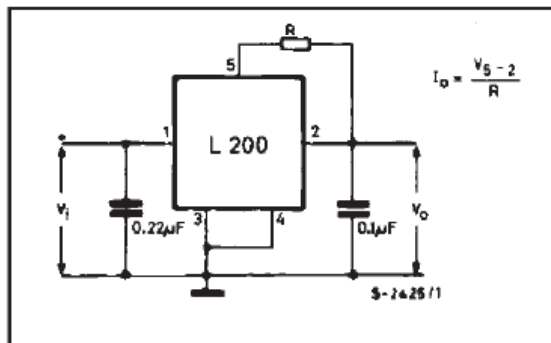


Figura 5.4 Circuiti Applicativi dell' L200

La corrente è limitata grazie all'ausilio della resistenza R3; infatti quando la tensione ai suoi capi supera il valore di 0.45 V (in realtà questo valore varia da componente a componente tra 0.38 e 0.52, ma nel nostro caso si è misurato proprio 0.45) il regolatore entra in protezione e fissa la corrente a $0.45/R3$, ne risulta che per fissare una corrente di 700 mA R3 dovrà valere circa 0.64Ω .

A questo punto risulta evidente perché si è deciso di inserire due resistenze in serie invece di una: avere una maggiore flessibilità nella scelta dei valori, la cui somma dovrà oscillare tra 0.5 e 1Ω a seconda del valore con cui si desidera limitare la corrente nei Led; il fatto poi di avere due resistenze non costringe a rinunciare alle comunissime resistenze da 0.25 W (nel caso di 1.000 mA si avrebbe sulla resistenza da 0.45Ω una dissipazione di 0.45 W).

Montati i due regolatori non ci resta che selezionare le uscite al valore desiderato girando la vite dei trimmer.

Nel caso dei Led innalzeremo la tensione fino a far entrare il regolatore in protezione di corrente, in modo da fissarla al valore desiderato $0.45/R3$ (ciò accade con V_{out} di circa 28.5 V).

Nel caso della tensione per il circuito di segnale gireremo il trimmer in modo da avere in uscita la tensione necessaria al nostro circuito (3 o 5 V).

5.2.3 Dimensionamento Termico

THERMAL DATA

			Pentawatt®
$R_{th j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	3 °C/W
$R_{th j-amb}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max	50 °C/W

Figura 5.5 Resistenze Termiche dell' L200

Il punto critico per il dimensionamento termico è rappresentato dal regolatore di corrente per i Led.

Il massimo drop-out è valutato dal costruttore intorno ai 2 V, ma consideriamo il caso peggiore di 2,5 V.

La potenza dissipata sul regolatore (con corrente 700 mA) è di $(31-28.5) V \cdot 0.7 A$, cioè 1,75 W.

La Temperatura di giunzione dell'integrato (considerato il caso peggiore di una Temperatura Ambiente di 40 °C, e una RJA di 50 °C/W) risulta uguale a $40 °C + 1,75 W \cdot 50 °C/W$, cioè 127 °C.

Per quanto riguarda il regolatore di tensione, il basso assorbimento di corrente della parte di segnale (che possiamo abbondantemente sovrastimare con 50 mA) rende la dissipazione di potenza molto bassa, nonostante sul regolatore cadano circa 31 – 5 V, cioè 26 V, per una dissipazione di $26 V \cdot 0,05 A$, cioè 1,3 W.

Nonostante, in teoria non vi sia bisogno di dissipatore, in pratica si è comunque aggiunto per non rendere in ogni caso le parti a contatto (in fase di test) troppo roventi.

Due piccoli dissipatori da 25 °C/W ci consentono di mantenere la temperatura di giunzione a, $40 °C (max temp. amb.) + 1,75 W \cdot [3 °C/W (RJC) + 0,5 °C/W (resistenza del contatto tra dispositivo e dissipatore con pasta termica) + 25 °C/W (resistenza dissipatore)]$, cioè circa 90 °C.

5.2.4 Considerazioni sul Layout.

Le dimensioni delle piste del circuito stampato sono state opportunamente dimensionate rispetto alle correnti massime previste per ogni percorso.

Si è considerato come valore cautelativo della massima densità di corrente per una pista di 5 A/mm². Considerando per il rame uno spessore di 35 µm, il valore della larghezza della pista risulta conseguentemente fissato.

Le piste sulle quali è stato previsto il valore massimo di 700 mA (primo regolatore) sono state fatte larghe 180 mils, quelle per il secondo regolatore sono state dimensionate pensando ad una corrente massima di 300 mA (in questo caso si sfrutta a pieno tutto il trasformatore, che può erogare corrente fino ad 1 A), quindi di larghezza 80 mils.

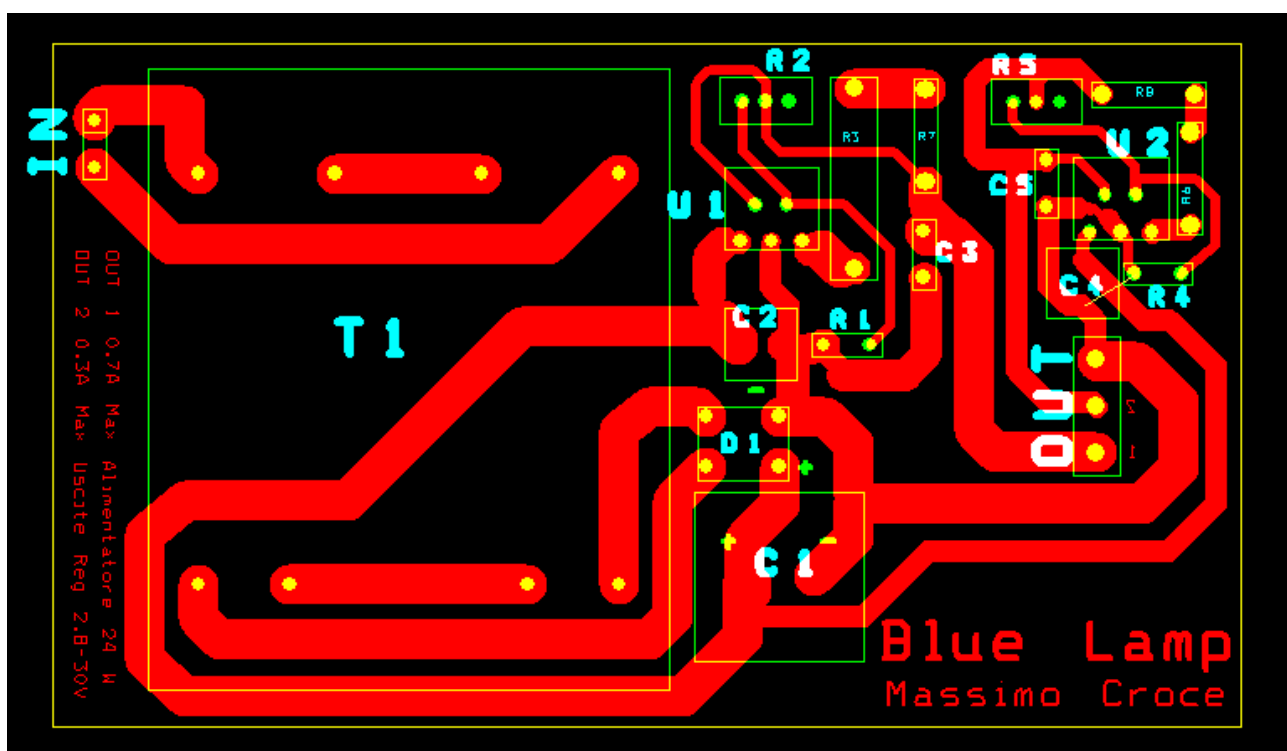


Figura 5.6 Layout del Circuito di Alimentazione del prototipo “BlueLamp”

5.3 Parte di Segnale.

5.3.1 Soluzione circuitale.

Il circuito utilizzato per la parte di segnale è il seguente:

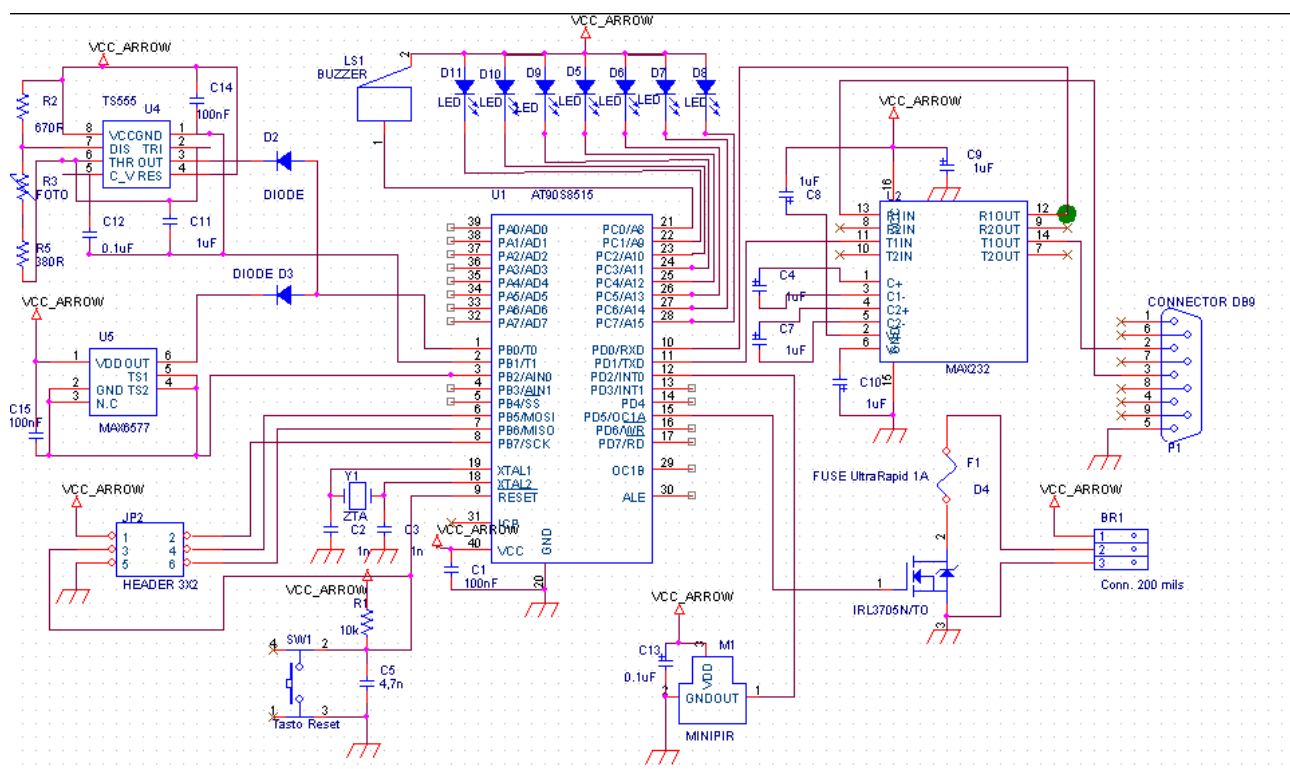


Figura 5.7 Schema Elettrico del Circuito di Segnale del Prototipo "BlueLamp"

Primo compito di questo circuito è di pilotare correttamente, attraverso la PWM del MOS IRL3705N, la corrente nei Led.

Il MOS di Potenza (HEXFET) scelto si lascia pilotare come interruttore anche con livelli logici di un micro (2.5 – 15 V); le sue caratteristiche "Fast-Switching speed" e la sua bassissima resistenza $R_{DS(on)}$ di 0.01 Ω lo rendono una scelta ideale per la nostra applicazione.

Data la sua bassissima resistenza dissipa pochissima potenza (e in particolar modo solo potenza dinamica nell'attraversamento della zona triodo durante la commutazione). In conduzione la tensione Drain-Source è praticamente trascurabile.

In Serie al MOS è stato aggiunto un Fusibile ultrarapido da 1 A per evitare che, in caso di guasto del regolatore di corrente, i Led siano attraversati da correnti troppo alte che potrebbero danneggiarli.

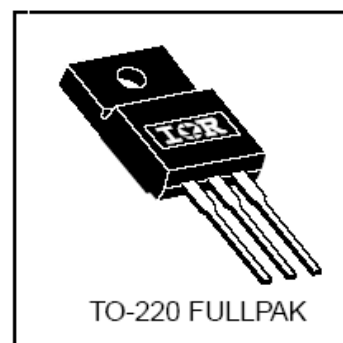


Figura 5.8 Il MOS di Potenza IRL3705N



Figura 5.9 Il Fusibile Ultrarapido da 1 A

Per quanto riguarda l'interfaccia si nota che sul prototipo è stata prevista una porta seriale con cui collegare BlueLamp al dispositivo Bluetooth, nel nostro caso un modulo del Casira. E' stato altresì previsto un ingresso sul nostro dispositivo anche con livelli UART direttamente sul micro, by-passando il MAX232 (sulla scheda bisogna spostare i due jumper che collegano MAX232 e UART Micro e ricollocarli tre UART Micro e TXD/RDX accanto al connettore seriale).

Il MAX232 rappresenta il noto convertitore di livelli logici (+/- 5) in livelli RS232 (+/-12) e viceversa; conversione che avviene utilizzando i condensatori esterni da 1 μ F con la classica tecnica del Raddoppiatore e Invertitore di Tensione "a pompa di carica".

Il nostro micro si comporta, secondo lo standard RS232, come un dispositivo DTE, cioè riceve sul pin 2 e trasmette sul pin 3. Poiché il firmware Bluetooth del Casira implementava il controllo di flusso hardware sul nostro connettore si è reso necessario cortocircuitare i pin 7 (RTS) e 8 (CTS) ed i pin 4 (DTE Ready) e 6 (DCE Ready).

Anche il modulo Casira si comporta come un DTE, quindi la soluzione più immediata è stata quella di usare un connettore DTE maschio su BlueLamp connesso con un cavo intrecciato (Femmina-Femmina) al modulo Casira.

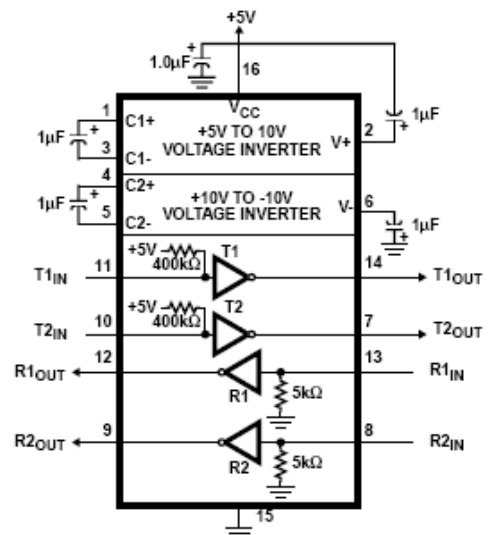


Figura 5.10 Il MAX232

di

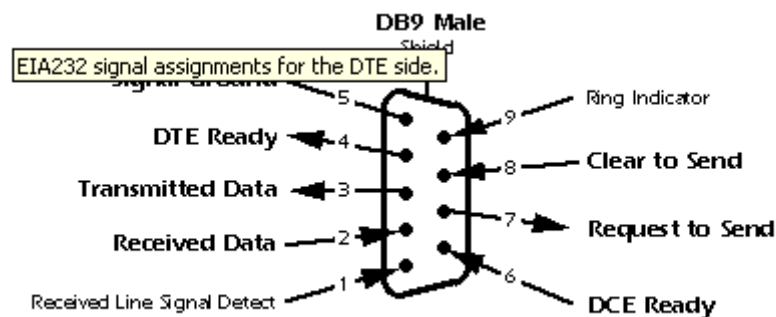


Figura 5.11 Il Connettore DTE Maschio secondo lo Standard RS232

Accanto al micro si vede il cristallo a 3.86 MHz con relativi condensatori da 22 pF per la generazione del clock del micro.

Più sotto il tasto di reset del micro con relativo condensatore e resistenza di pull-up (Reset attivo-basso).

A sinistra in basso è visibile il connettore a sei fili per la programmazione In-System (ISP).

In alto vi sono dei Led colorati con funzione di segnalazione e utili soprattutto in fase di debug; accanto il buzzer che simula la presenza di una sirena ed avverte con un piccolo suono quando il valore d'impostazione luminosa cambia.



Figura 5.12 Il Buzzer

A sinistra ci sono il convertitore luce- frequenza e il sensore di temperatura, collegati all'ingresso del timer con due diodi. Infatti, avendo a disposizione un solo ingresso del timer e non volendo aggiungere un altro componente (multiplexer) si è deciso di abilitare un sensore alla volta, dandogli la massa con un pin del micro, e leggendo la tensione in ingresso con la resistenza di pull-up del pin del micro attivata.

Condensatori di disaccoppiamento da 100nF in poliestere sono stati previsti per ogni componente.

5.3.2 Considerazioni sul Layout.

In fase di Layout si è cercato di minimizzare il numero di ponticelli necessari curando con attenzione lo sbroglio di tutto il circuito.

I componenti più costosi come il micro e il MiniPIR sono stati montati sui relativi zoccoli per essere facilmente asportati, nel caso di versioni successive del prototipo.

Una particolare attenzione è stata posta ai contatti che dal MOS vanno sul connettore: in questi, infatti, potranno scorrere fino a 700 mA. Non volendo complicare troppo il layout si è preferito fare piste relativamente piccole 100 mils, stagnate poi in fase di saldatura.

Nonostante le dimensioni ridottissime e il montaggio sul Bottom (componente SMD) il sensore di temperatura si è rilevato integrabile (con una certa sorpresa) anche in un circuito a realizzazione hobbistica.

Va inoltre precisato che in entrambi i Layout, per una questione di leggibilità, rispetto alla versione definitiva manca il riempimento con il “copper pour” ed il ribaltamento delle scritte che, per essere lette bene sul Bottom, devono apparire dal Top speculari (il circuito è visto dall’alto “in trasparenza”).

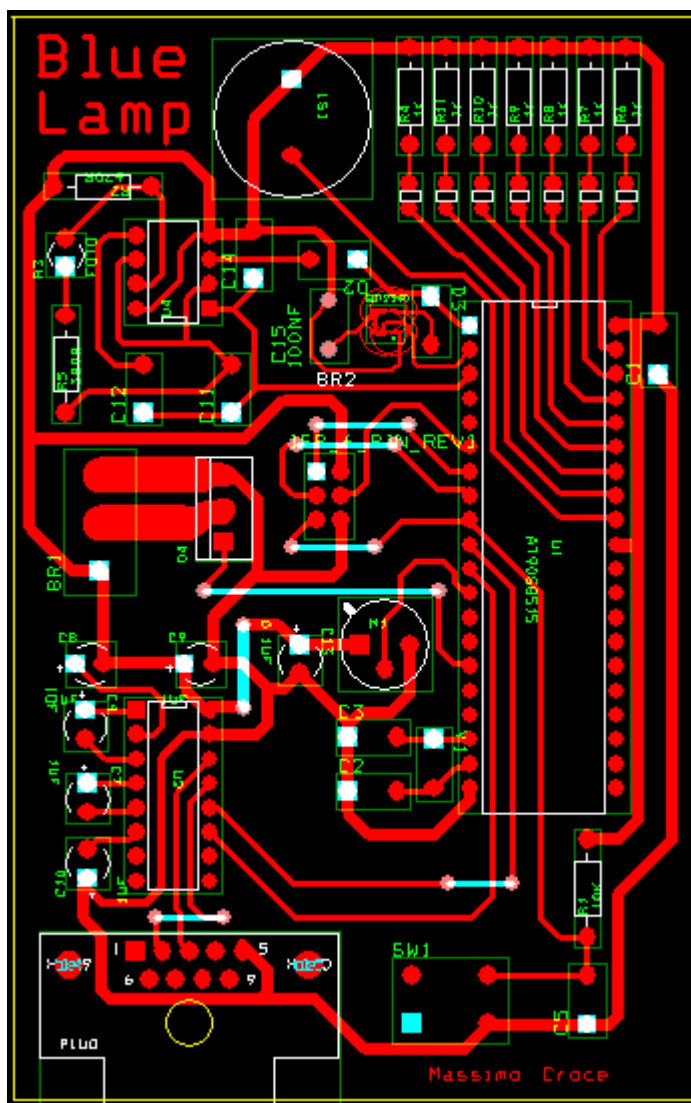


Figura 5.13 Layout del Circuito di Segnale del Prototipo “BlueLamp”.

5.4 Parte Led Superluminosi.

5.4.1 Caratteristiche

Abbiamo già anticipato che per il nostro prototipo sono stati scelti 8 Led Luxeon Start da 3W (esistono anche da 1W e da poco anche da 5W) prodotti dalla Lumileds.



Figura 5.14 Il Led Luxeon Star di Lumileds

Vista l'applicazione si è scelto il colore bianco (T_dC 5500 K) ed un'emissione di tipo lambertiano.

Esistono per questo tipo di Led vari tipi di colori (verde, ciano, blue, royal blue e bianco) e ne esistono anche ad emissione laterale (side emitting).

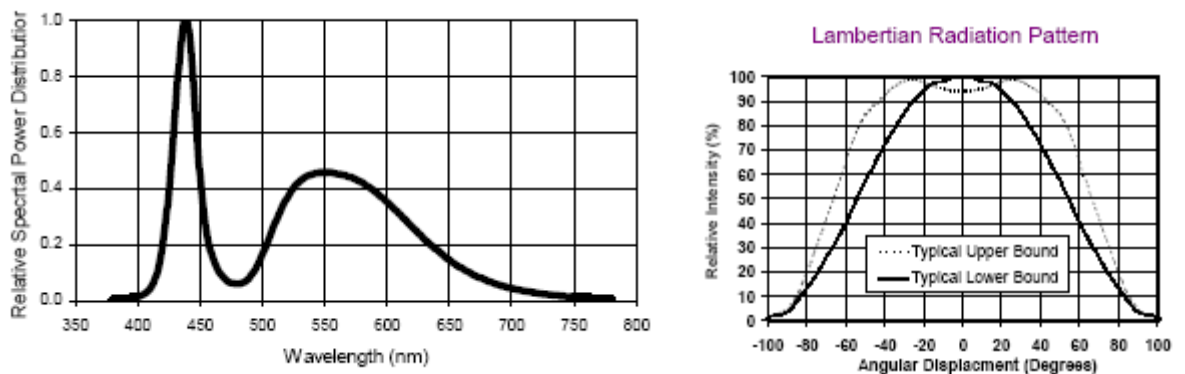


Figura 5.15 Caratteristiche d'Emissione del Luxeon Star Bianco da 3W

Tra i parametri importanti sottolineiamo una caduta tra 3.03 e 4.47 V (3.7 V tipica) a 700 mA (60 Lm), una caduta di 3.9 V a 1000 mA (80 Lm), una resistenza termica tra giunzione e case di 17 °C/W e una massima temperatura di giunzione di 135 °C.

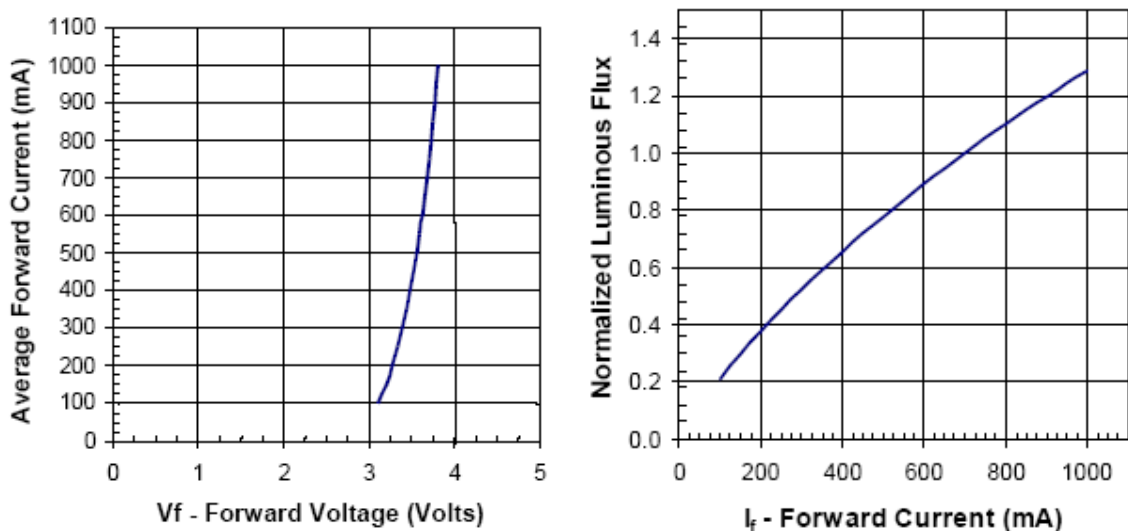


Figura 5.16 Caratteristiche Elettriche del Luxeon Star Bianco da 3W

Gli 8 Led Luxeon Star da 3 W sono stati collegati in serie come in figura, saldandoli con strisce di rame, dopo averli disposti secondo una geometria quadrata:

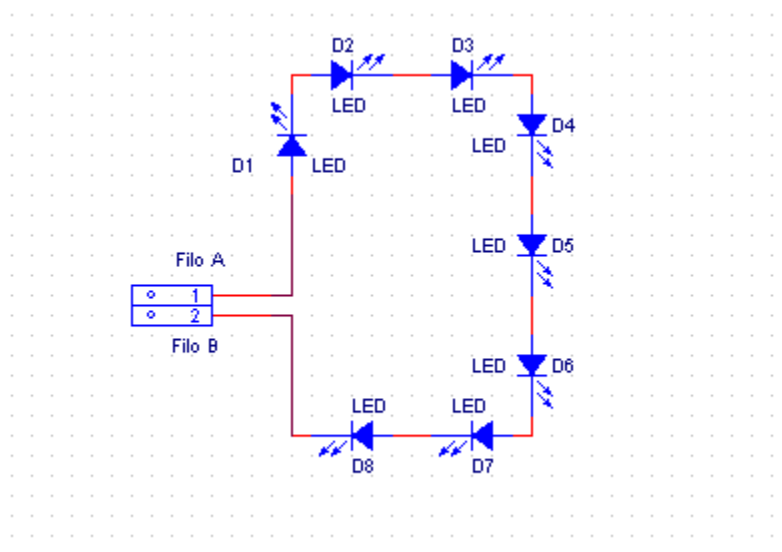


Figura 5.17 Collegamento dei LED

5.4.2 Dimensionamento Termico

Quando la serie dei Led è attraversata da una corrente di 700 mA ai suoi capi vi è una tensione di circa 28.5 V.

La potenza che quindi bisogna dissipare con il nostro supporto di alluminio è di circa $28.5 \text{ V} * 0.7 \text{ A} * 0.8$ (considerando un'efficienza per i Led del 20%), cioè circa 20 W.

In realtà, secondo la guida termica (ma la cosa non convince del tutto), grazie al supporto in Metal Core PCB (1 in²) i Led potrebbero funzionare senza grossi problemi anche senza nessuna precauzione termica. In questo caso il metal core si porterebbe a 70 °C e la dissipazione necessaria sarebbe comunque garantita (T_{amb} 25 °C); probabilmente questa affermazione si riferisce solo alla versione Star da 1 W !.

Una caratteristica dei Led Luxeon è di disaccoppiare il percorso termico da quello elettrico; riuscendo infatti a dissipare più calore dal nucleo emettitore si va a ridurre la resistenza termica del Led e di conseguenza si riesce ad ottenere Led con potenze più elevate.

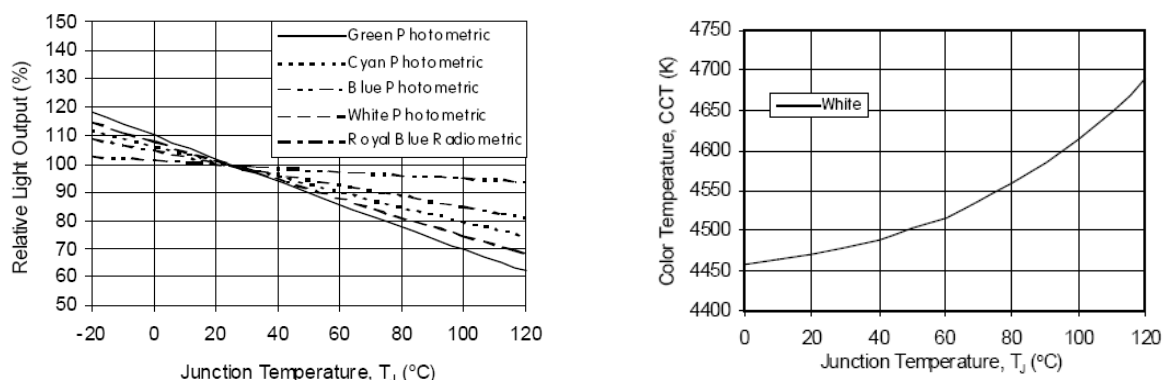


Figura 5.18 Variazione del Flusso Luminoso e della Temperatura di colore al variare della Temperatura di Giunzione del LED

Bisogna altresì considerare che al variare della temperatura di giunzione del Led variano almeno tre parametri della nostra sorgente luminosa:

1. l'emissione luminosa all'aumentare della T_j decresce (questo tipo di degradazione di emissione è comunque reversibile)
2. la temperatura di colore aumenta
3. ovviamente l'affidabilità cala.

E' per questi tre motivi che si preferisce comunque prevedere un minimo di alettatura della lampada: minori saranno le temperature di esercizio maggiori saranno le performance del nostro dispositivo.

Mettendoci nel caso peggiore di una T_{jmax} di 120°C , una $T_{amb.}$ di 40°C , ed una potenza dissipata di $2,5\text{W}$ ($28.5\text{V}/8 * 0.7\text{A}$), si ottiene una R_{ja} di $(120-40^{\circ}\text{C})/2.5\text{W}$, cioè 32°C/W (siamo nel caso peggiore di figura):

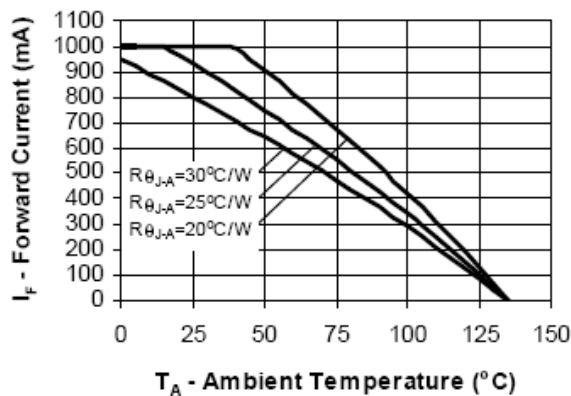
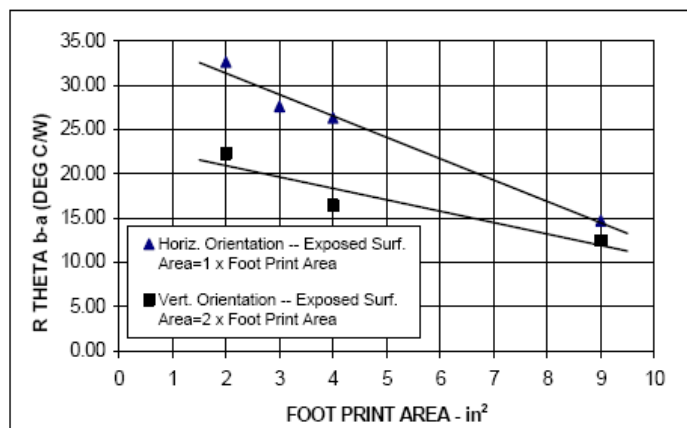


Figura 5.19 Massima Corrente nel Led in funzione della Temp. Amb. e con parametro R_{ja}

sottraendo a R_{ja} la R_{jb} (vista prima valere 17°C/W), si ottiene una R_{ba} di 15°C/W . Ora se si va a consultare la guida della Lumileds per il dimensionamento termico¹³,



Flat Heat Sink 0.09" (2.3 mm) Thick – Horiz. Set-up Fig. 3C – Vert. Set-up Fig 3D

Figura 5.20 R_{ba} in funzione della Superficie dell'Aletta di Alluminio.

si vede che, nel caso di dissipazione con aletta piatta di alluminio, la resistenza sopra calcolata si ottiene con una superficie di 7 in^2 (il nostro caso è quello in nero, cioè vi è convezione naturale ad entrambi i lati della piastra).

¹³ Luxeon Thermal Design Guide

Considerando che i Led sono 8 la superficie necessaria sarà di $7 \times 8 = 56 \text{ in}^2$, che si traduce nel lato di un quadrato pari a 7 in, che corrispondono ai 18 cm della nostra piastra di alluminio.

Nel caso si desiderino soluzioni più compatte, nella stessa guida sono forniti grafici per il dimensionamento anche nel caso di superfici alettate e in condizioni di convezione forzata.

5.4.3 Montaggio.

Un particolare che bisogna sottolineare è che la base dei Led non è isolata. Per questo è raccomandato in fase di montaggio di provvedere ad un buon isolamento elettrico tra i Led.

I Led sono stati isolati dall'aletta di alluminio con della mica per transistori; il contatto termico è stato altresì migliorato con della pasta conduttrice spalmata su entrambi i lati della mica.

I Led sono poi stati fissati sull'aletta tramite due viti alle estremità.

6. Descrizione del firmware realizzato per BlueLamp.

6.1 Inizializzazioni

In primo luogo è inizializzato il vettore d'interrupt: oltre all'interrupt relativo al reset, sono dichiarati gli Interrupt relativi all'Overflow del Timer/Counter 0 (TC0) e al Receiving Complite della UART. A tutti gli interrupt non utilizzati è stato associata l'istruzione reti, onde prevenire comportamenti imprevedibili nel caso dovessero scattare involontariamente delle richieste d'Interrupt non previste.

Subito dopo sono fatte una serie di definizioni di registri per rendere il programma più leggibile e comprensibile.

Segue l'inizializzazione del microcontrollore.

Innanzitutto viene inizializzato lo stack pointer:

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
\$3E (\$5E)	SP15	SP14	SP13	SP12	SP11	SP10	SP9	SP8	SPH
\$3D (\$5D)	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	SPL
	7	6	5	4	3	2	1	0	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 6.1 Il Registro a 16 bit SPH, SPL dello Stack Pointer

La UART viene abilitata in trasmissione e ricezione settando opportunamente i bit dell' UART Control Register (UCR), nel quale registro è altresì specificato di abilitare l'interrupt di ricezione completa di un byte (RXCIE).

UART Control Register – UCR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$0A (\$2A)	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	CHR9	RXB8	TXB8	UCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	1	0	

Figura 6.2 Il Registro di Controllo della UART: UCR

La velocità di trasmissione, pari a 115200 bit/sec, è stabilita attraverso l' UART Baud Rate Register (UBRR) caricato col valore 1 (compatibile col nostro collegamento Bluetooth e con errore praticamente allo 0% alla frequenza del nostro cristallo 3.68 MHz; vedi tabella 17 del manuale del micro).

UART BAUD Rate Register – UBRR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$09 (\$29)	MSB							LSB	UBRR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

$$\text{BAUD} = \frac{f_{\text{CK}}}{16(\text{UBRR} + 1)}$$

Figura 6.3 Il Registro per il Settaggio del Baud Rate della UART: UBRR

Di seguito vengono inizializzate le porte di I/O.

La porta B viene configurata come ingresso: sul PB0 troviamo il sensore di temperatura.

Sulla porta D troviamo l'ingresso sul PD0 della UART, sul PD1 l'uscita della UART e sul PD5 l'uscita PWM che va a pilotare la nostra lampada.

Sotto vengono inizializzati i Timers.

Il TC0 viene configurato col prescaler a 1024 inserendo nell' Timer/Counter Control Register 0 (TCCR0) i valori per i bit CS02, CS01, CS00 previsti della tabella dei prescaler:

Timer/Counter0 Control Register – TCCR0

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$33 (\$53)	-	-	-	-	-	CS02	CS01	CS00	TCCR0
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

CS02	CS01	CS00	Description
0	0	0	Stop, the Timer/Counter0 is stopped.
0	0	1	CK
0	1	0	CK/8
0	1	1	CK/64
1	0	0	CK/256
1	0	1	CK/1024
1	1	0	External Pin T0, falling edge
1	1	1	External Pin T0, rising edge

Figura 6.4 Inizializzazione del Timer/Counter 0

La routine d'interrupt relativa Overflow viene abilitata nel Timer Interrupt Mask Register (TIMSK) settando ad 1 il bit TOIE0:

Timer/Counter Interrupt Mask Register – TIMSK

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$39 (\$59)	TOIE1	OCIE1A	OCIE1B	-	TOIE1	-	TOIE0	-	TIMSK
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R	R/W	R	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 6.5 Il Registro per il Settaggio degli Interrupt del TC0: TIMSK

Per quanto riguarda il Timer Counter 1, questi viene fatto lavorare in modalità PWM non invertita a 8 bit; ciò viene ottenuto settando il primo e l'ultimo bit dell' Timer Counter Control Register 1 A (TCCR1A):

Timer/Counter1 Control Register A – TCCR1A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2F (\$4F)	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	-	-	PWM11	PWM10	TCCR1A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 6.6 Il Registro di Controllo per il TC1: TCCR1A

secondo quanto previsto dalle tabelle:

COM1X1	COM1X0	Effect on OCX1
0	0	Not connected
0	1	Not connected
1	0	Cleared on compare match, up-counting. Set on compare match, down-counting (non-inverted PWM).
1	1	Cleared on compare match, down-counting. Set on compare match, up-counting (inverted PWM).

Note: X = A or B

PWM11	PWM10	Description
0	0	PWM operation of Timer/Counter1 is disabled
0	1	Timer/Counter1 is an 8-bit PWM
1	0	Timer/Counter1 is a 9-bit PWM
1	1	Timer/Counter1 is a 10-bit PWM

Figura 6.7 Tabelle per il settaggio del Timer/Counter 1

Nel caso d'uscita PWM il TC1 va abilitato senza prescaler settando il solo bit CS10 del TCCR1B, come da tabella relativa.

Timer/Counter1 Control Register B – TCCR1B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2E (\$4E)	ICNC1	ICES1	–	–	CTC1	CS12	CS11	CS10	TCCR1B
Read/Write	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Table 10. Clock 1 Prescale Select

CS12	CS11	CS10	Description
0	0	0	Stop, the Timer/Counter1 is stopped.
0	0	1	CK
0	1	0	CK/8
0	1	1	CK/64
1	0	0	CK/256
1	0	1	CK/1024
1	1	0	External Pin T1, falling edge
1	1	1	External Pin T1, rising edge

Figura 6.8 Inizializzazione del TC1 in modalità PWM

Proseguendo si abilita il micro ad entrare in "sleep mode" quando richiesto dal software attraverso l'istruzione sleep. A questo fine si setta il bit SE (Sleep Enable) nell' MCU Control Register (MCUCR), e configurando il bit SM a 0 si sceglie la modalità sleep "Idle Mode".

MCU Control Register – MCUCR

The MCU Control Register contains control bits for general MCU functions.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$35 (\$55)	SRE	SRW	SE	SM	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	MCUCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 6.9 Inizializzazione della "Sleep Mode" per il Micro

La fase d'inizializzazione del micro termina con l'assegnazione di valori di default ai registri di lavoro dichiarati.

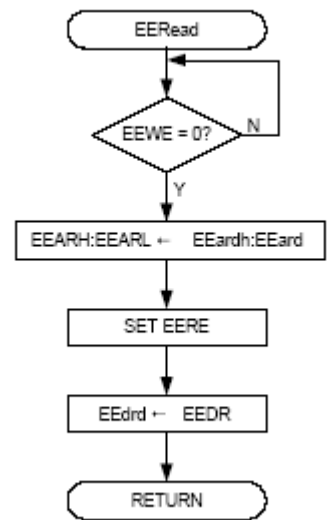
6.2 Lettura dalla EEPROM della modalità di funzionamento e dell'intensità luminosa

La prima vera operazione del micro è di andare a ripristinare i valori della modalità di funzionamento e dell'intensità luminosa che aveva registrato nella sua EEprom prima di spegnersi la volta precedente.

La procedura di lettura dalla EEPROM è molto semplice e viene ripetuta per entrambi i parametri.

Prima di effettuare una lettura dobbiamo innanzi tutto assicurarci del fatto che la EEprom possa essere effettivamente letta (e che non stia, ad esempio, compiendo una azione di scrittura) interrogando il flag EEprom Write Enable (EWE) dell' EEprom Control Register (EECR) e accertandoci che sia zero; in caso contrario attenderemo che lo diventi.

"EERead" Flow Chart



EEPROM Control Register – EECR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$1C (\$3C)	-	-	-	-	-	EEMWE	EWE	EERE	EECR
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 6.10 Inizializzazione del Registro di Controllo della EEprom: EECR. A destra Il Corretto Flusso d'Istruzioni per una Lettura in Memoria.

Siamo ora pronti per inserire l'indirizzo a 9 bit nel doppio registro EEprom Address Register (EEARH:EEARL) relativo alla lettura del primo parametro: la modalità di funzionamento.

EEPROM Address Register – EEARH and EEARL

Bit	15	14	13	12	11	10	9	8	
\$1F (\$3F)	-	-	-	-	-	-	-	EEAR8	EEARH
\$1E (\$3E)	EEAR7	EEAR6	EEAR5	EEAR4	EEAR3	EEAR2	EEAR1	EEAR0	EEARL
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	8	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	0	0	0	0	

Figura 6.11 Inserimento nei Registri EEARH:EEARL del valore dell'indirizzo di Lettura

Come indirizzo viene utilizzata la prima locazione della EEprom ovvero \$0000.

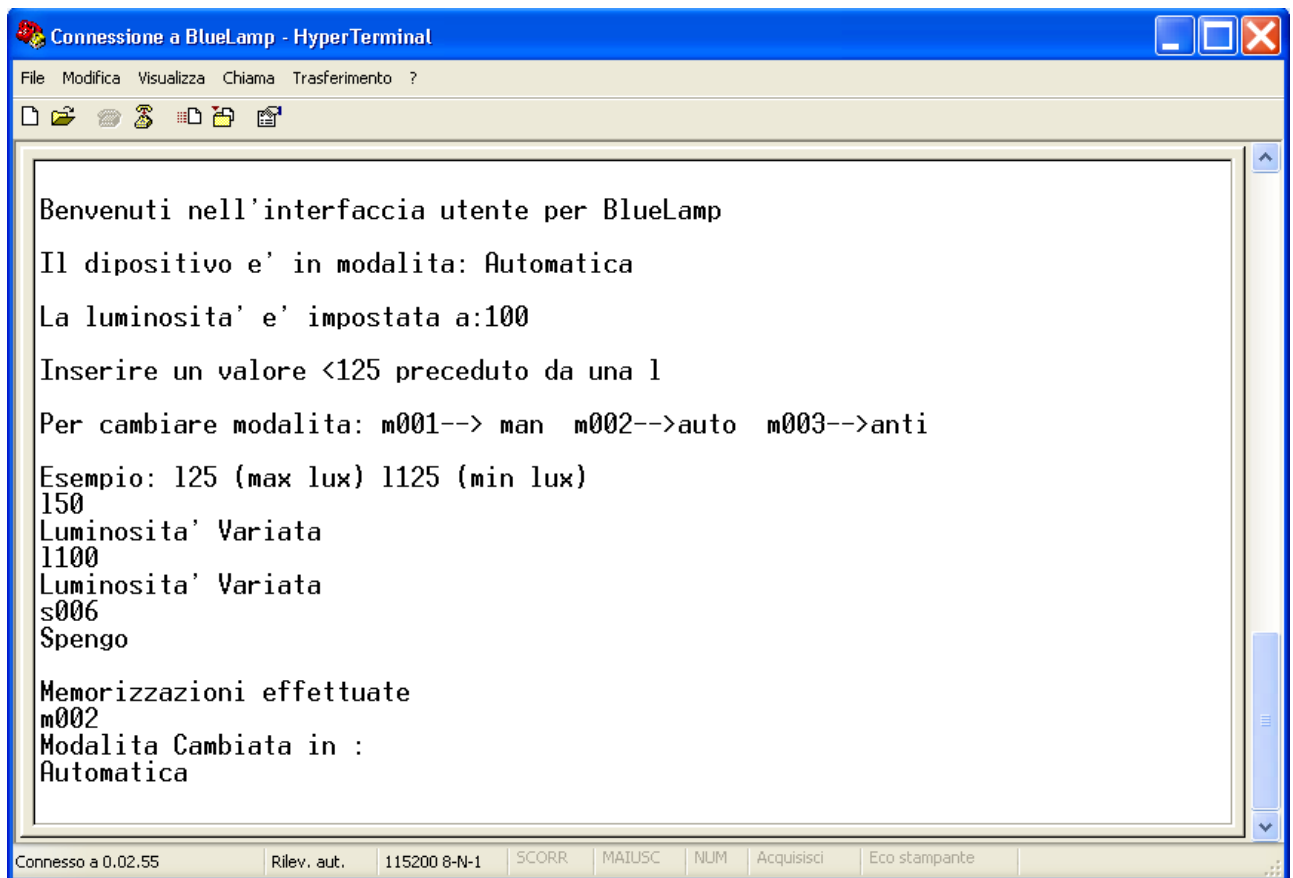
Il segnale d'accesso in lettura è rappresentato dal mettere ad 1 il bit EEprom Read Enable (EERE) dell' EECR: si dà così il via all'operazione di lettura.

Dal momento che questo bit sarà rimesso a 0 dall' hardware il valore corretto della lettura sarà disponibile nell'EEprom Data Register (EEDR), di qui poi potremo spostarlo nel nostro registro di lavoro (MODALITA).

La stessa procedura viene ripetuta per la lettura dell'intensità luminosa, ovviamente con indirizzo di memoria successivo e spostamento del valore nel registro di lavoro opportuno (RITARDORL).

6.3 Interfaccia utente all'accensione del dispositivo

All'accensione del dispositivo vengono lanciati dei messaggi d'interfaccia per rendere più gradevole e intuitiva la gestione della lampada.



```
Connessione a BlueLamp - HyperTerminal
File Modifica Visualizza Chiama Trasferimento ?
Benvenuti nell'interfaccia utente per BlueLamp
Il dispositivo e' in modalita: Automatica
La luminosita' e' impostata a:100
Inserire un valore <125 preceduto da una l
Per cambiare modalita: m001--> man m002-->auto m003-->anti
Esempio: l25 (max lux) l125 (min lux)
l50
Luminosita' Variata
l100
Luminosita' Variata
s006
Spengo
Memorizzazioni effettuate
m002
Modalita Cambiata in :
Automatica
Connesso a 0.02.55 | Rilev. aut. | 115200 8-N-1 | SCORR | MAIUSC | NUM | Acquisisci | Eco stampante
```

Figura 6.12 Messaggi d'Interfaccia

Queste Stringhe vengono visualizzate o in una apposita casella nell' interfaccia grafica realizzata con Labview (non visibile nelle figure del Capitolo 1, ma presente nella versione definitiva) o direttamente su schermo se si decide di utilizzare come interfaccia un comunissimo programma di gestione dei collegamenti Seriali (Tipo HyperTerminal, fornito di default nelle ultime versione del pacchetto Windows).

Dopo un primo messaggio di benvenuto (“Benvenuti nell’interfaccia utente per BlueLamp”)

Si comunica la modalità di funzionamento del dispositivo (“Il dispositivo è in modalità: “) lanciando sull’interfaccia la stringa corrispondente alla modalità (0, 1, 2) appena letta da EEPROM (“Manuale” o “Automatica” o “Antifurto”).

Viene poi comunicata l’intensità luminosa (“L’intensità luminosa sarà ripristinata a:”) appena letta avendo cura di trasformare il byte registrato in EEPROM nelle corrispondenti cifre decimali attraverso la routine INTtoASCII, che dal byte fornitogli nel registro intval ricava le singole cifre decimali riportandole nei registri HundredCounter, TenthCounter, OneCounter (in nessun caso avremo a che fare con numeri che richiedano più cifre).

Per chiarezza vengono poi comunicati degli esempi su come cambiare la modalità e l’intensità luminosa: “ Inserire un valore < 125 preceduto da una l “; “ Esempio: l25 (max lux); l125 (min lux) ”; “Per cambiare modalità: m001→ man m002→auto m003→anti”.

La comunicazione delle stringhe avviene attraverso la procedura MESSAGE.

6.3.1 Procedura Message

Si è già anticipato che i messaggi d'interfaccia sono registrati nella flash del micro attraverso la direttiva `db` all'assemblatore. Come visibile nelle ultime pagine del firmware esistono vari tipi di messaggi; ognuno di questi è individuato in testa da un'etichetta e in coda da uno 0 (zero); all'interno la stringa inizia e termina sempre coi caratteri "Line feed" e "Carriage Return" per maggior chiarezza di visualizzazione sullo schermo.

Prima di lanciare la procedura message viene sempre inizializzato il doppio registro ZH:ZL in corrispondenza del primo carattere della stringa da comunicare, cioè in corrispondenza dell'etichetta del messaggio.

Quello che questa procedura fa è molto semplice.

Carica nel registro R0, attraverso l'istruzione LPM (Load from Program Memory), il carattere della stringa, attende che il flag dell'UART Data Register Empty (UDRE) dell'UART Status Register (USR) sia uno e che quindi la UART sia disponibile per il lancio di un carattere.

Il carattere viene così inserito nell'UART Data Register (UDR) e automaticamente lanciato dall'Hardware della UART.

Il registro ZH:ZL viene incrementato di uno andando a puntare il carattere della stringa successivo; la routine riparte da capo fino a quando il carattere letto dalla flash non risulti 0 (zero), che verrà interpretato come il carattere di fine stringa.

6.4 Ciclo d'attesa principale del programma

Il Main del programma è stato partizionato con una struttura a tre sotto_main principali corrispondenti alle tre modalità di funzionamento: Wait_Man, Wait_Anti, Wait_Auto.

Questi rappresentano una sorta di stato del sistema; la possibilità di passare da uno all'altro è garantita dal variare del parametro modalità.

In ogni sotto_main la prima azione effettuata è quella di verificare se vi è stata una richiesta di cambio di modalità e di portarsi con un salto al sotto_main richiesto oppure continuare nella modalità attuale.

Vengono poi eseguite per ogni modalità tutte le azioni previste dalla fase di validazione delle specifiche: i registri presenza, modalità, intensità luminosa, acceso, spento, suona sirena, ritardo sirena... implementano i comportamenti già visti nel software LabVIEW.

Comune alle tre modalità sono le procedure d'attesa, acquisizione, interpretazione ed elaborazione del dato lanciato dalla postazione remota.

In ogni sotto_main è presente il controllo di una variabile findato che indica se è stato ricevuto un dato. Quando findato viene visto uguale ad uno, sono attivate di seguito tutte le procedure sopra elencate.

6.5 Routine d'Interrupt che memorizza il dato da tastiera

Il dato che il nostro sistema si aspetta di ricevere è composto da un massimo cinque caratteri ASCII. Il primo carattere, che deve essere di tipo alfabetico, oltre a rappresentare il byte di start della comunicazione indica il tipo di dato che sarà contenuto nei caratteri successivi.

Se questi è una l (luminosità) le cifre successive saranno interpretate come un'intensità luminosa, nel caso sia una m (modalità) il dato rappresenterà un cambio di

modalità, nel caso sia una s (spegni) il dato sarà interpretato come un comando di spegnimento.

L'ultimo carattere deve sempre essere il Ritorno Carrello che indica la fine del dato.

La parte centrale è costituita da un campo numerico che può essere di una, due o tre cifre a seconda del valore che si vuole trasmettere.

Come specifica già il nome stesso la UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) è una periferica di I/O di tipo Asincrono.

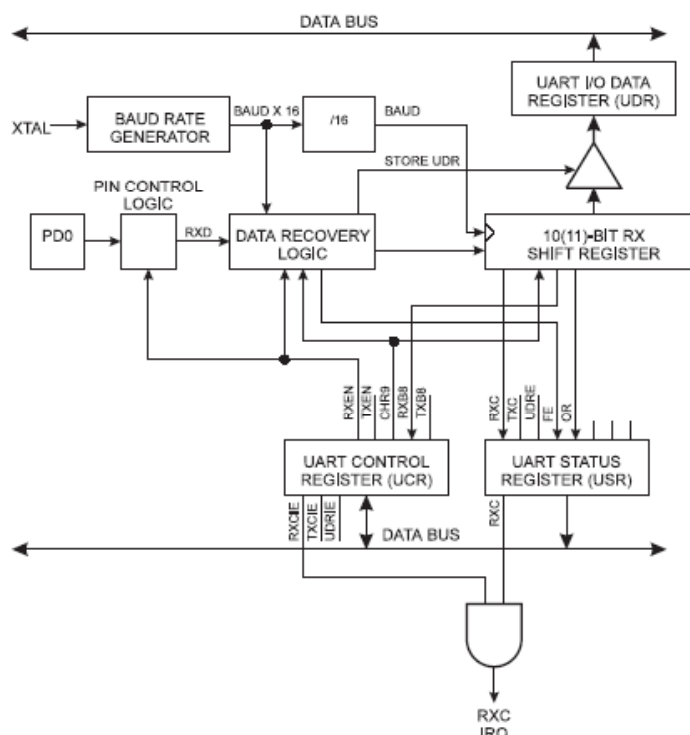


Figura 6.13 Schema a Blocchi del Ricevitore UART

La procedura d'acquisizione di un carattere viene gestita allora più comodamente attraverso la tecnica dell'interruzione di programma.

La logica del front-end del ricevitore campiona il segnale in ingresso ad una frequenza pari a 16 volte il baud rate. Mentre il ricevitore è in attesa vede sulla linea un segnale alto (1); nell'istante in cui campiona uno zero lo interpreta come il fronte in discesa del bit di start, verifica allora che anche i campioni otto nove e dieci siano zero (o lo siano almeno due su tre), e se il controllo ha successo inizia ad acquisire i bit successivi, altrimenti si rimette in attesa di un nuovo bit di start.

Ogni singolo bit viene valutato attraverso i suoi tre campioni centrali: il valore logico riconosciuto è quello che corrisponde ad almeno due dei suoi tre campioni centrali:



Figura 6.14 Campionamento della UART del Dato in Ricezione

Dopo che tutti i singoli bit sono stati valutati e inseriti in successione nel Receiver Shift Register, si va a valutare con la stessa tecnica anche il bit di stop che deve essere uno,

pena l'invalidazione del byte e la segnalazione del Framing Error (FE) nel relativo flag dell'USR.

E' a questo punto che il contenuto del Receiver Shift Register viene trasferito nel UART Data Register (UDR) e il bit RXC viene settato causando la richiesta d'interruzione che si esplica con l'esecuzione della nostra routine.

La routine carica il valore in un registro d'appoggio e lo invia poi nuovamente nell'UDR.

Premettiamo che in realtà l'UDR è rappresentato fisicamente da due registri che condividono uno stesso indirizzo di I/O, quando si legge viene considerato l'UART Receive Data Register, quando si scrive viene considerato l'UART Transmit Data Register.

Il valore appena letto viene subito rinviato nella UART per due motivi: come prima cosa, certi programmi di interfaccia seriale, tipo il diffusissimo HyperTerminal di Windows, non mostrano i caratteri direttamente battuti dalla tastiera ma necessitano che il dispositivo cui sono inviati gli facciano un eco; d'altra parte questo eco rappresenta anche una verifica che il carattere ricevuto dalla UART sia effettivamente quello voluto.

La routine prosegue verificando se il carattere ricevuto sia un Ritorno Carrello, nel qual caso mette il registro findato ad uno e disabilita la UART predisponendo il programma alla fase successiva di elaborazione del dato.

Nel caso il carattere non sia un Ritorno Carrello e non ne siano stati inseriti ancora cinque, il carattere viene messo ordinatamente nella pila predisposta nella RAM di nome datiluce.

Questa pila, al termine dell'inserimento del dato, contiene la codifica ASCII del primo carattere alfabetico e le tre (o due o una) successive codifiche dei caratteri numerici.

In ogni caso al quinto carattere ricevuto, anche se questi non è un Ritorno Carrello, la routine termina ponendo findato ad uno e disabilitando la UART in ricezione, ponendo a zero il bit RXCIE dell'UCR.

La UART sarà successivamente riabilitata anche in ricezione dopo l'elaborazione completa del dato ricevuto.

Dopo la ricezione completa del dato, e quindi dopo un minimo di tre o un massimo di cinque esecuzioni della routine di questo, il dato completo viene a trovarsi in una zona della Ram il cui primo indirizzo viene indicato dall'etichetta datiluce.

Siamo ora pronti ad interpretare il dato.

6.6 Procedura di interpretazione del dato

Questa procedura è certamente quella più complessa di tutto il programma.

Ci sono infatti molte cose su cui prestare attenzione in questa fase se non si vuole incappare in qualche situazione anomala.

In primo luogo vengono effettuate delle verifiche: come prima cosa si controlla che il campo numerico del dato non sia andato oltre le tre cifre e che quindi la quinta battuta non sia stato il Ritorno Carrello (unico carattere che non viene messo nella pila datiluce) ma un altro numero o comunque un altro qualsiasi carattere.

Si verifica poi che il primo carattere sia effettivamente uno degli alfabetici consentiti (l,m,s). Si verifica che gli altri siano dei numeri decimali (codifica ASCII compresa tra \$30 e \$3°) e si sostituisce nella locazione della ram corrispondente ad ogni codifica ASCII il valore numerico in base due del numero corrispondente.

Ad esempio, nel caso si fosse battuto due da testiera nella pila avevamo la codifica ASCII di questo numero, cioè \$32 (0b00110010), ora effettuando l'and di questo byte con \$0f (0b00001111) lo sostituiremo con il suo vero valore in base due (0b00000010).

Viene poi effettuato il controllo sul numero decimale inserito. Questo si è detto dover essere minore di 125.

In prima istanza si verifica se il numero viene rappresentato su tre cifre, in caso contrario il numero è di certo inferiore (o al massimo si è già verificato un errore, a causa del fatto di aver inserito come quinto carattere un numero e non il ritorno carrello).

Nel caso il numero sia composto da tre cifre si va a verificare che la prima non sia maggiore di uno, la seconda maggiore di due e la terza maggiore di cinque.

Durante queste fasi di verifica appena viene riscontrato un errore innanzi tutto è fornito un messaggio d'interfaccia segnalando il perché dell'errore e come non ripeterlo, di seguito viene attivata la funzione RIPARTI.

Questa funzione, riportata in fondo alla procedura sotto esame, reinizializza i registri RISULTATO, FINEDATO, NDATA per una nuova acquisizione di un dato. Viene altresì riattivata la UART in ricezione e resettato il puntatore alla pila datiluce.

Dopo la fase di verifica si passa alla fase d'interpretazione.

I singoli numeri decimali depositati nella pila devono divenire un unico numero in base due.

Quest'operazione è effettuata attraverso il blocco CALCOLO. Il numero che indica le centinaia viene moltiplicato per 100, il numero delle decine moltiplicato per 10 ed, entrambi, sommati al numero delle unità (nel caso il dato fornito sia a meno di tre cifre una o due delle fasi precedenti vengono saltate).

Nonostante la banalità di queste operazioni, il programma software non risulta altrettanto immediato data la mancanza sul nostro micro di un moltiplicatore hardware (MAC).

Si è dovuto, infatti, procedere ad una moltiplicazione software ottenuta dal blocco MULTIPLY, nel quale la variabile diecent vale dieci o cento a seconda della cifra che si sta moltiplicando.

Il risultato così ottenuto viene posto nel registro RISULTATO.

Di seguito in base al significato del dato esso viene registrato nel relativo registro di lavoro MODALITA, RITARDO (intensità luminosa) o SPEGNI.

In tutti i casi viene confermato all'utente che tipo di modifica viene apportata e a quali registri, con una precisa ed esauriente gestione delle stringhe memorizzate nella flash.

I cambiamenti nel comportamento del sistema saranno resi effettivi dal prossimo controllo dei suddetti registri che verrà effettuato non appena si ritorna all'esecuzione di uno dei tre sotto_main principali; l'intensità luminosa sarà aggiornata alla prossima esecuzione della procedura AGGIORNA LED.

6.7 Procedura d'Aggiornamento della luminosità dei LED.

Questa procedura viene lanciata all'interno dei cicli principali del programma; la sua funzione è di variare la luminosità dei LED in accordo col dato ricevuto.

Abbiamo già affermato che il dimmer dei nostri LED viene ottenuto attraverso un controllo PWM;

compito di questo blocco è andare ad aggiornare il registro OCR1A.

L'aggiornamento della PWM non avviene in concomitanza dell'aggiornamento del registro OCR1A, ma con un leggero ritardo dovuto al fatto che il valore di OCR1A viene temporaneamente memorizzato in un registro d'appoggio e effettivamente inserito nel

registro OCR1A solo quando il valore del TC1 raggiunge il TOP; si parla in questo caso di Synchronized OCR1A Latch.

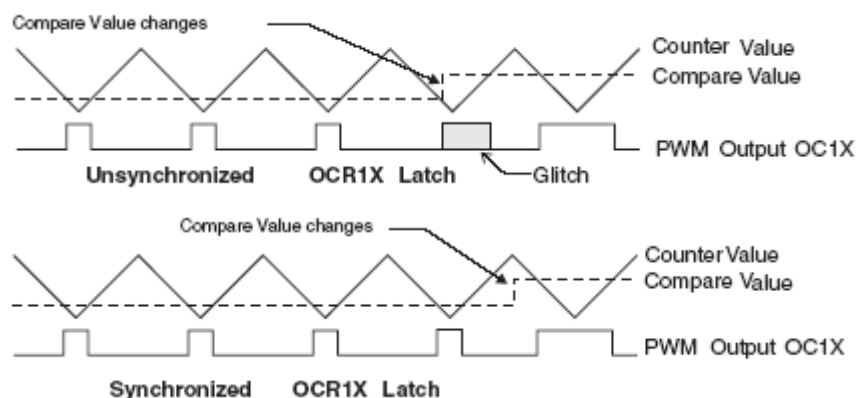


Figura 6.15 Strategia per il Controllo PWM senza “Glitches”

Ciò è dovuto all’esigenza di voler evitare che vi siano Impulsi PWM di lunghezza dispari (glitches) nei casi di una scrittura non sincronizzata del registro OCR1A, come visibile in figura 6.14.

Nel nostro caso questi glitches non avrebbero comportato grossi problemi.

Per completezza precisiamo anche che i valori limite di OCR1A danno un output coerente con la tabella sottostante; essendo nel caso di PWM non invertita si considerino solo le prime due righe.

Table 13. PWM Outputs OCR1X = \$0000 or TOP

COM1X1	COM1X0	OCR1X	Output OC1X
1	0	\$0000	L
1	0	TOP	H
1	1	\$0000	H
1	1	TOP	L

Note: X = A or B

Figura 6.16 Comportamento dell’uscita PWM nei casi limite del Registro OCR1X con valore \$0000 e TOP.

6.8 Routine di Interrupt che acquisisce i fronti di un onda quadra

Abbiamo già discusso della comodità di utilizzare sensori il cui valore misurato sia proporzionale alla frequenza della loro onda quadra in uscita.

Questa routine di interrupt serve a monitorare il valore segnalato dai sensori.

Grazie alle inizializzazioni viste all’inizio del firmware l’hardware di questa periferica genera ciclicamente una richiesta d’interrupt.

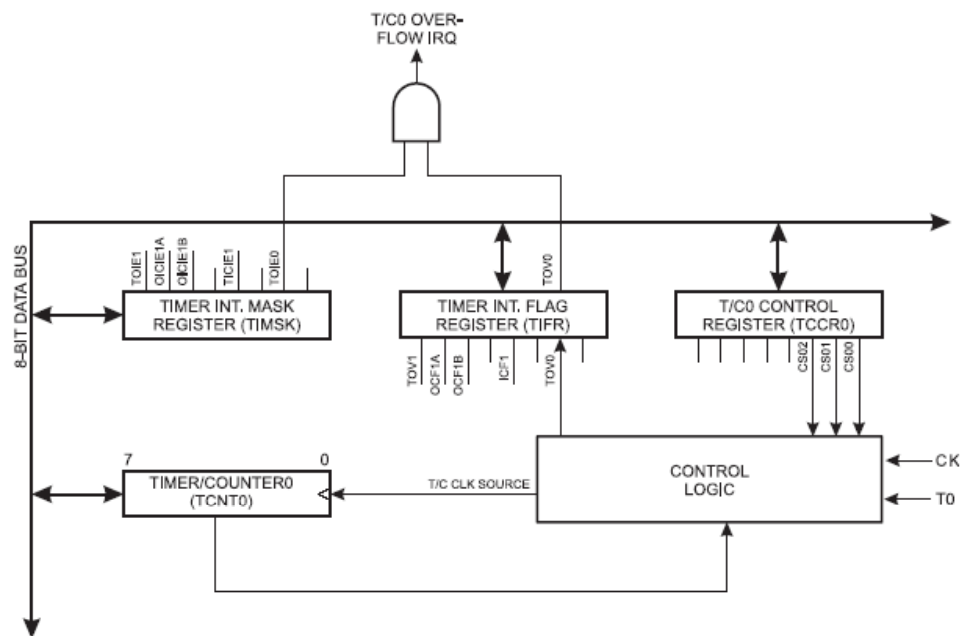


Figura 6.17 Schema a Blocchi del Timer/Counter 0

Ad ogni Overflow del TC0 (circa 10 ms) la routine è eseguita, incrementando un contatore che quando arriva a 255, fa partire effettivamente l'acquisizione della frequenza dell'onda quadra (il sensore è quindi monitorato ogni 2.55 secondi).

Allo start d'acquisizione del valore il TC0 è riconfigurato come contatore di fronti in salita di un segnale esterno; i bit CS02, CS01, CS00 del TCCR0 vengono tutti settati in accordo alla tabella sottostante.

Timer/Counter0 Control Register – TCCR0

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$33 (\$53)	–	–	–	–	–	CS02	CS01	CS00	TCCR0
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Table 7. Clock 0 Prescale Select

CS02	CS01	CS00	Description
0	0	0	Stop, the Timer/Counter0 is stopped.
0	0	1	CK
0	1	0	CK/8
0	1	1	CK/64
1	0	0	CK/256
1	0	1	CK/1024
1	1	0	External Pin T0, falling edge
1	1	1	External Pin T0, rising edge

Figura 6.18 Configurazione del Timer/Counter 0 per il Calcolo della Frequenza di OUT dei Sensori

Vengono così acquisiti i fronti in salita per la durata di un secondo.

Il contatore viene conseguentemente fermato, letto e riassetato.

Il valore contenuto nel contatore TCNT0 rappresenta, ovviamente, la frequenza dell'onda quadra appena osservata.

Il contatore è ora pronto ad essere nuovamente configurato come timer con overflow ogni 10 ms.

Il valore ottenuto dal sensore viene decodificato (ovvero vengono calcolate le singole cifre decimali dal valore binario con la solita procedura) e viene comunicato via UART al dispositivo remoto (interfaccia PC); in realtà la decodifica e la comunicazione avvengono solamente nel caso il valore appena calcolato sia differente da quello precedentemente comunicato.

La comunicazione del dato prevede prima il lancio di una stringa “ Nuovo valore di Temperatura: “ o “ Nuovo valore di Luminosità: “ con l’ausilio della solita procedura MESSAGE, di seguito vengono inviate le singole cifre del nuovo valore, avendo cura di inserirle nel registro UDR solo quando il bit TXC dell' USR si sia settato, dandoci l’ok per l’invio di un nuovo byte.

Sarà poi compito dell’ hardware della periferica spostare il byte dall’ UDR allo TX Shift Register e provvedere all’invio dei singoli bit sul pin di I/O PD1:

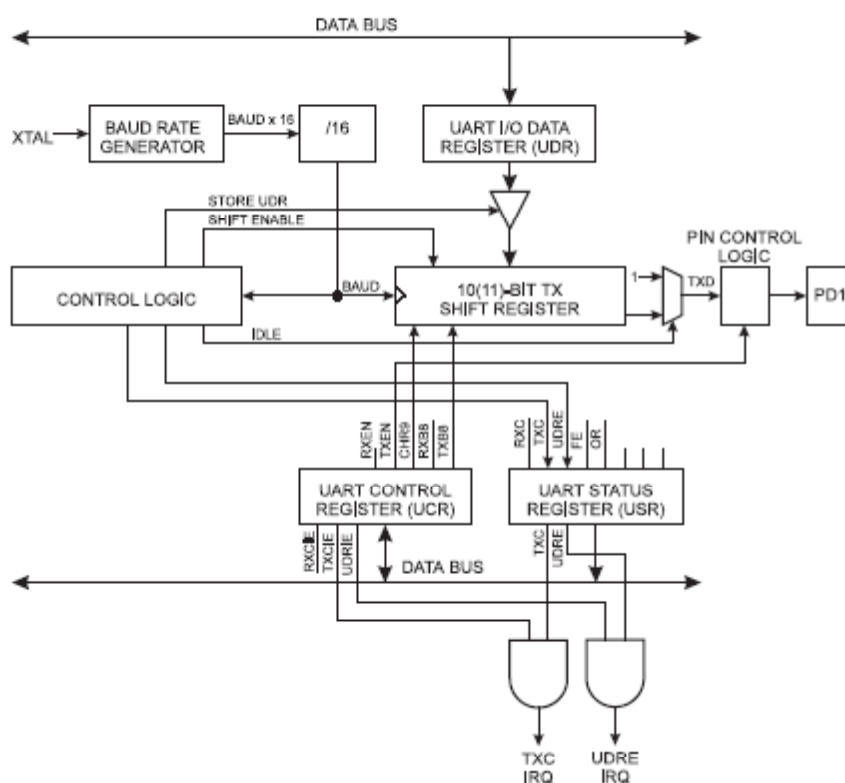


Figura 6.19 Schema a Blocchi della Sezione di Trasmissione della UART

6.9 Procedura di allarme che attiva la Sirena

Nel caso il dispositivo sia stato settato in modalità allarme (prestando attenzione ad uscire dalla stanza nel tempo di fuga stabilito) ed un intruso si sia introdotto nel raggio di azione della lampada, come previsto dalle specifiche, viene attivata una sirena.

Questa sirena è collegata al pin di I/O PA4. In caso di allarme questo pin diviene alto e la sirena viene attivata per un intervallo prestabilito ed impostabile; trascorso questo

intervallo la sirena cesserà di suonare, fino quando non sarà rilevato un nuovo movimento nella stanza.

La sirena può essere disattivata dall'utente, attraverso un apposito codice riconosciuto dal software, sia nel caso la sirena sia in funzione sia nel caso si intenda disattivare l'allarme e passare ad una nuova modalità di funzionamento.

6.10 Spegnimento del dispositivo

Tutte le procedure fin qui viste dal ciclo di attesa principale del programma vengono eseguite ciclicamente secondo la modalità di funzionamento, del comportamento dei sensori e dei dati inviati via UART al nostro micro.

L'ultima azione del nostro micro che ci resta da analizzare è quella relativa allo spegnimento. Si è già visto nella fase di valutazione delle specifiche, che si vuole che il nostro sistema sia capace di memorizzare sia la modalità di funzionamento sia l'intensità luminosa al momento dello spegnimento, per potersi, alla successiva accensione, riportare nel medesimo stato.

Questi due parametri vengono allora memorizzati nella EEprom a bordo del micro.

6.10.1 Scrittura in EEprom della modalità e dell'intensità luminosa

La procedura di scrittura in EEprom risulta un po' più complicata di quella già vista per la lettura.

Vengono infatti prese precauzioni sia per evitare danneggiamenti delle locazioni durante il funzionamento a Vcc più basse rispetto a quelle previste come minimo dalla Fclk usata dal micro (ciò può avvenire soprattutto durante i transitori di Power Up/Down) sia per evitare che una richiesta di interrupt durante la scrittura ne comporti un fallimento.

Onde evitare il primo problema esistono tre soluzioni: mantenere il reset dell'AVR attivo durante i periodi di insufficiente alimentazione, ciò viene efficacemente ottenuto con un circuito esterno di reset di protezione denominato "Brown-out Detector" (BOD, vedi app. note AVR180); alternativamente è possibile mantenere il core dell'AVR in Power-Down Sleep Mode durante i periodi di basso Vcc, impedendo alla CPU di eseguire istruzioni e quindi di effettuare le intenzionali scritture; l'ultima soluzione è di immagazzinare i dati nella Flash, che non può essere aggiornata dalla CPU e quindi danneggiata via software.

Quest'ultima tecnica è stata utilizzata per memorizzare le stringhe di interfaccia, ma non poteva essere applicata in questo caso in quanto i parametri modalità e intensità luminosa non sono costanti.

Il problema che una richiesta di interrupt durante la scrittura ne comporti un fallimento viene risolto molto semplicemente disabilitando tutti gli Interrupt per tutto il tempo necessario alla CPU ad effettuare l'operazione di scrittura.

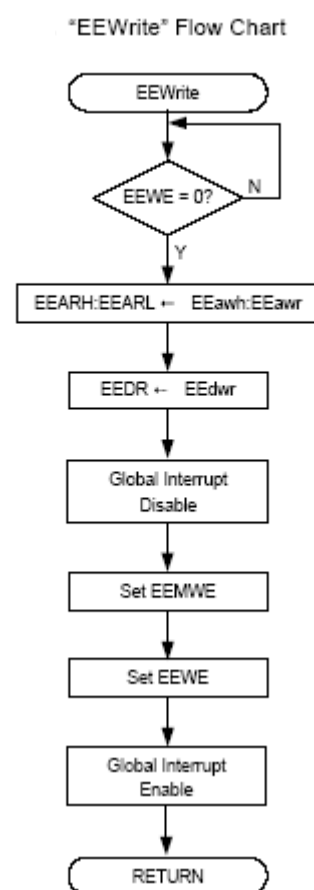


Figura 6.20 Scrittura in EEprom

Anzi nel nostro programma visto che la lettura e la scrittura in EEprom rappresentano la prima e l'ultima azione gli interrupt vengono abilitati solo dopo la lettura e disabilitati del tutto prima della scrittura.

Nel diagramma di flusso qui accanto si nota che prima di settare il segnale di scrittura EWE, deve essere anche settato il bit EEprom Master Write Enable (EEMWE) e i due comandi non devono essere lontani più di 4 cicli di clock; tutto questo per rendere ancora più sicura l'operazione di scrittura.

I tempi di accesso in scrittura rientrano del range 2.5 – 4 ms a seconda della Vcc usata (5V – 2.7).

Subito dopo la memorizzazione dei parametri un messaggio di interfaccia conferma all'utente l'avvenuta memorizzazione.

6.11 Autoprogrammazione del microcontrollore

Uno degli aspetti più interessanti dei microcontrollori Atmel della terza generazione è la possibilità che offrono di autoprogrammarsi attraverso un programma, chiamato in gergo "BootLoader", residente sulla flash dello stesso micro.

Già la seconda generazione aveva fatto passi da gigante in questa direzione con la programmazione In-System: utilizzando un semplice circuito con un micro economico (Programmatore In-System) è possibile aggiornare il firmware dell'applicazione (anche dopo la costruzione del PCB e del montaggio del micro sulla scheda) preoccupandosi solamente di prevedere sul circuito un connettore aggiuntivo a 6 pin (Vcc, Reset, Gnd, Miso, Mosi, Sck) per l'interfacciamento alla SPI del micro.

In questo modo, senza dover utilizzare un'alimentazione esterna (come accadeva per la riprogrammazione dei micro della prima generazione) e con l'ausilio di pochi componenti, è possibile passare all'assemblaggio del circuito anche se il firmware non ha raggiunto una versione definitiva e presenta ancora qualche bug.

Le fasi dell'assemblaggio hardware e della programmazione possono così avere un margine di sovrapposizione che garantisce un'ampia flessibilità e un lancio sul mercato del prodotto finito in minor tempo.

Ad esempio, molte applicazioni richiedono un numero seriale sul micro che possa essere letto via software, l'ISP permette di ritardare questa scrittura fino all'ultima fase di produzione del sistema.

L'Atmel stessa fornisce gratuitamente molte soluzioni sia per l'hardware e sia per il software dell'ISP.

Come già accennato, con la strategia del BootLoader si fanno ancora passi in avanti in questo senso.

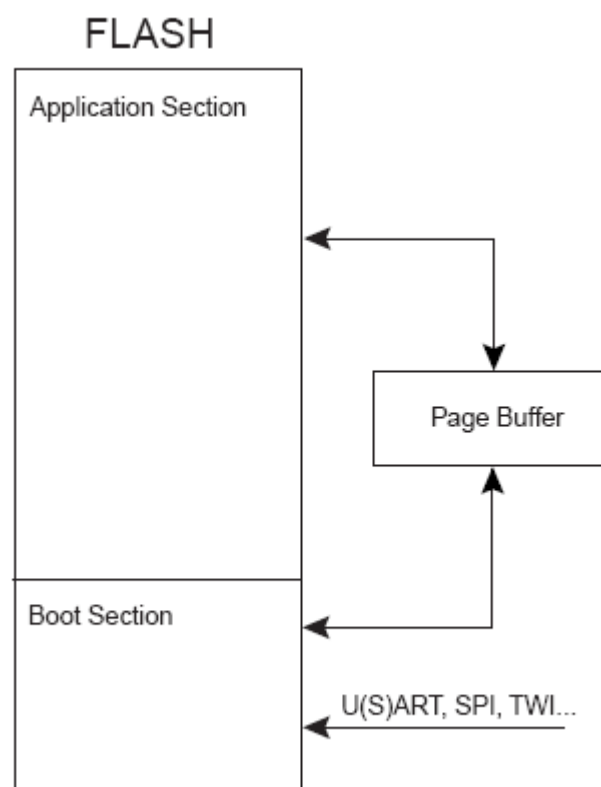


Figura 6.21 Partizionamento della Flash per i Micro con Bootloader

Questi tipi di micro (ATmegaXXX) hanno una sezione della Flash che può essere dedicata ad ospitare un programma di BootLoader: il micro mentre esegue istruzioni che si trovano nella sezione di Boot è abilitato a scrivere nella sezione dedicata al programma (Application Memory) può così compiere operazioni di Self-Programming.

La grandezza della sezione di Boot viene decisa attraverso il settaggio di opportuni Boot fuse. I programmi di BootLoader esaminati vanno da qualche centinaio di byte fino a 2K byte. Se non si hanno particolari specifiche è sempre preferibile usare programmi di BootLoader piccoli che vanno quindi a sottrarre meno memoria alla sezione dell'applicazione.

Nel caso si desideri proteggere la programmazione e la lettura della flash da terzi, l'Atmel mette a disposizione BootLoader più sofisticati (e quindi più lunghi) che implementano anche degli algoritmi di criptaggio/decriptaggio del software: questo tipo di BootLoader si avvale degli algoritmi Data Encryption Standard (DES) oppure del più sicuro Triple DES (3DES).

E' molto interessante notare che, durante il Self-Programming il micro può continuare a rispondere alle richieste degli interrupt critici avendo la possibilità software di spostare il vettore degli interrupt della Application Section alla Boot Section.

A differenza di altri microcontrollori, gli Atmega consentono delle sessioni di Self-Programming "self-timed", eliminando il rischio che l'esecuzione di una routine di interrupt vada a compromettere il timing della programmazione.

In definitiva, eliminata anche la necessità di un programmatore esterno e di qualsiasi componente hardware aggiuntivo, si arriva ad una soluzione di riprogrammazione single-chip.

La programmazione può avvenire attraverso una qualunque delle interfacce del micro (SPI, U(S)ART, CAN, TWI...) a differenza dell'ISP che utilizzava solamente la SPI.

Questo porta beneficio soprattutto in quei casi dove l'applicazione sia fisicamente difficile da raggiungere, proprio come nel nostro.

Nel caso che l'applicazione utilizzi almeno un'interfaccia la strategia del BootLoader non comporta nemmeno un utilizzo aggiuntivo di pin del micro.

Nel nostro caso il collegamento seriale, ottenuto via Bluetooth, con la UART del micro ci consente una riprogrammazione remota del dispositivo wireless e senza dover fisicamente accedere alla lampada.

6.11.1 Strategia utilizzata per il BootLoader

Il sorgente utilizzato per il programma di BootLoader è stato scritto completamente in assembler e per essere compilato necessita solitamente dell'AvrStudio (free), a differenza d'altri sorgenti che è possibile reperire in rete gratis (scritti in C o C++) ma che per essere compilati necessitano di un compilatore a pagamento.

Un altro vantaggio di un BootLoader scritto in assembler è che risulta decisamente ottimizzato: utilizzando solo 392 byte di flash risulta pienamente compatibile con il BootLoader "ufficiale" proposto da Atmel. nell'app. note AVR109.

Oltre a riprogrammare la flash questo BootLoader memorizza nelle due ultime posizioni della EEprom quante volte il chip sia stato riprogrammato, informando così l'utente su quante riprogrammazioni sono ancora disponibili (Endurance dell'Atmega163: 1.000).

Il programma si interfaccia al software contenuto in AvrStudio "AVRprog", che riconosce la presenza del micro (in BootLoader) attraverso dei comandi standard d'interfaccia.

Il BootLoader può essere attivato in vari modi. Quelli implementati sono due.

6.11.2 BootLoader Hardware

In un primo caso basta tenere premuto il tasto BOOT presente sul circuito mentre si dà il reset al micro. In questo caso il micro vedendo basso il pin PC0 capisce che deve iniziare una sessione di Bootloading e resta nella sezione di Boot (che avremo attivato come sezione di partenza in ogni caso) andando ad interfacciarsi con il programma AVRprog che sarà lanciato dopo il reset.

Nel caso il micro, al reset, veda PC0 alto passa ad eseguire il programma nell'“Application Section” eseguendo una jump all'indirizzo zero.

Questo modo di gestire il BootLoader è particolarmente utile in fase di prototipazione del sistema in cui il sistema può essere riprogrammato con la semplice pressione di un tasto.

6.11.3 BootLoader Software

Nel caso il sistema sia stato già collaudato e reso disponibile sul mercato il BootLoader più efficiente è sicuramente il seguente.

Dalla nostra applicazione d'interfaccia realizzata con LabVIEW (ma anche dall'interfaccia seriale di HyperTerminal) è possibile lanciare un particolare comando (B666) che riconosciuto dal micro gli fa eseguire una jump all'indirizzo iniziale della flash dove risiede il BootLoader, e precisamente a \$1F02, cioè a valle del controllo dello stato del PINC0. Il micro interfacciandosi con AVRprog si lascia riprogrammare e al successivo reset non vedendo il PIC0 basso ritorna ad eseguire l'applicazione.

Si sottolinea che per rendere il tutto funzionante è fondamentale configurare bene i Fuses e i Lock Bits della Boot Section (dopo aver caricato il programma di BootLoader in flash):

I Fuses High Bits devono valere 0x04 per configurare il Boot Size a 256 word e spostare il vettore di reset all'indirizzo 0x1f00.

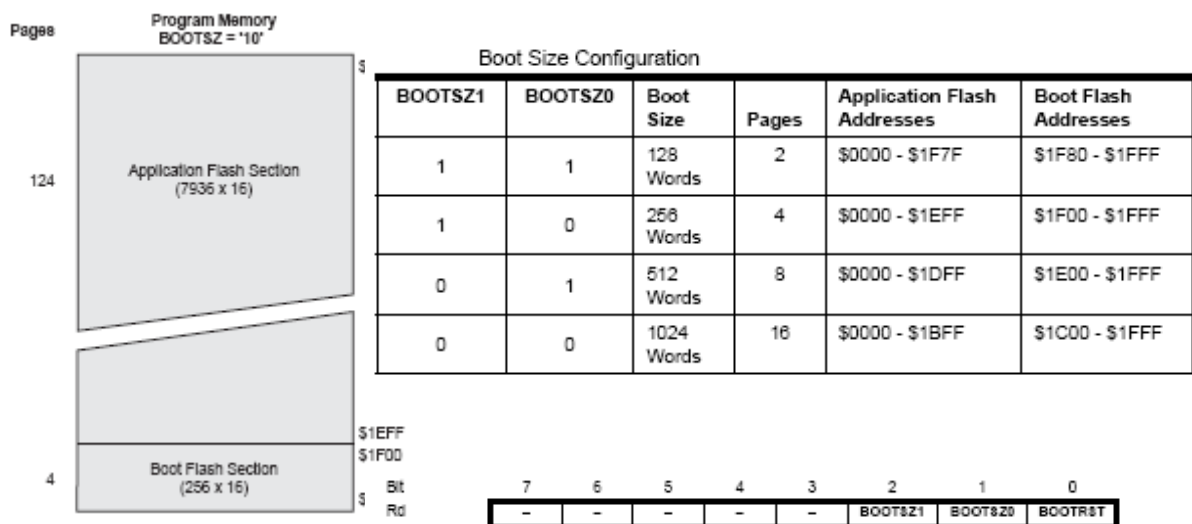


Figura 6.22 Configurazione della Grandezza della Sezione di Boot

Per quanto riguarda la Application Section si è scelta la modalità uno, cioè nessuna restrizione per le istruzioni di scrittura/lettura SPM/LPM nella flash di programma: BLB02 e BLB01 entrambi ad uno.

Per quanto riguarda la Boot Section si è scelta la modalità due, cioè si è voluto impedire che il programma di BootLoader potesse essere aggiornato (magari

involontariamente) disabilitando l'istruzione SPM di scrittura in flash per la sezione di BootLoader: BLB12 ad uno e BLB11 a zero.

Boot Lock Bit0 Protection Modes (Application Section) ⁽¹⁾			
BLB0 mode	BLB02	BLB01	Protection
1	1	1	No restrictions for SPM, LPM accessing the Application section
2	1	0	SPM is not allowed to write to the Application section
3	0	0	SPM is not allowed to write to the Application section, and LPM executing from the Boot Loader section is not allowed to read from the Application section
4	0	1	LPM executing from the Boot Loader section is not allowed to read from the Application section

Note: 1. "1" means unprogrammed, "0" means programmed

Boot Lock Bit1 Protection Modes (Boot Loader Section) ⁽¹⁾			
BLB1 mode	BLB12	BLB11	Protection
1	1	1	No restrictions for SPM, LPM accessing the Boot Loader section
2	1	0	SPM is not allowed to write to the Boot Loader section
3	0	0	SPM is not allowed to write to the Boot Loader section, and LPM executing from the Application section is not allowed to read from the Boot Loader section. If code is executed from Boot section, the interrupts are disabled when BLB12 is programmed.
4	0	1	LPM executing from the Application section is not allowed to read from the Boot Loader section. If code is executed from Boot section, the interrupts are disabled when BLB12 is programmed.

Note: 1. "1" means unprogrammed, "0" means programmed

Figura 6.23 Modalità di Protezione della Flash

Il software di BootLoader non supporta né la programmazione dei fuses né quella dei Lock bits, ma questo probabilmente, finisce per essere un bene impedendo involontari resettaggi, magari non ripristinabili.

Resta comunque sottointeso che la programmazione del BootLoader, almeno la prima volta, debba sempre essere fatto con l'ausilio di un programmatore esterno, sempre che non si decida di ordinare i processori già con il BootLoader installato (alcuni rivenditori offrono questa possibilità).

Attenzione: i fuses devono essere programmati prima dei Lock.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Rd	-	-	BLB12	BLB11	BLB02	BLB01	LB2	LB1

Figura 6.24 Registro dei Lock Bits per la protezione della Flash

7. Studio e progettazione del dispositivo con fonte luminosa tradizionale.

7.1 Premessa

Nonostante il futuro dell'illuminazione sarà caratterizzato (quasi certamente) dai dispositivi allo stato solido, bisogna altresì costatare che, allo stato attuale, il mondo dell'illuminazione domestica, cui ci rivolgiamo maggiormente con questo lavoro di tesi, è sostanzialmente caratterizzato da fonti luminose ad incandescenza e a scarica nei gas.

Volendo quindi dare a questo lavoro anche un carattere d'immediata utilità non ci siamo potuti esimere da soluzioni che potessero trovare maggiore interesse nel mercato odierno.

I circuiti per questo tipo di fonti luminose sono oramai standardizzati da molti anni; nonostante le possibilità di migliorie siano davvero marginali, si è comunque cercato di proporre soluzioni innovative.

Cambiando il tipo di fonte luminosa dovremo apportare alcune modifiche al nostro sistema.

Innanzitutto modifiche di tipo hardware. A questo proposito bisogna costatare che sia le lampade ad incandescenza che i tubi fluorescenti si collegano direttamente alla rete; ciò, in pratica, ci semplifica le cose, infatti, non dovremo più preoccuparci di realizzare un'alimentazione "ad hoc".

Vi sarà però da riprogettare la parte d'alimentazione del nostro circuito da 5V, che potrebbe restare sostanzialmente simile all'originaria a patto di ridimensionare fortemente il trasformatore.

Saranno poi necessarie modifiche al firmware anche se, di fatto, risulterà curioso notare che queste modifiche, soprattutto per il caso del tubo, non sono poi così sostanziali.

In questo capitolo andiamo quindi ad esporre una possibile soluzione del nostro dispositivo con fonte luminosa a lampada incandescente alogena e a tubo a scarica nei gas.

Risulta ovvio che la parte relativa all'interfaccia (LabVIEW e HyperTerminal), al collegamento seriale Bluetooth, alla gestione dei sensori e del microprocessore restano del tutto invariate.

7.2 Soluzione per il controllo remoto di una lampada alogena

La lampada alogena è stata controllata attraverso l'ormai classica tecnica della variazione dell'angolo di conduzione di un triac posto in serie alla lampada ad incandescenza, la quale ai fini elettrici si presenta come un carico resistivo.

Il triac è un dispositivo a semiconduttore a tre terminali il cui funzionamento può essere sinteticamente schematizzato con quanto segue.

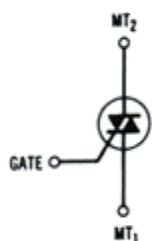


Figura 7.1 Simbolo del Triac

Gli stati di funzionamento possibili sono due, lo stato di conduzione e quello d'interdizione: nel primo la corrente può scorrere in entrambi i versi tra i terminali MT1 e MT2, nel secondo il triac si comporta come un ramo aperto. Il passaggio dallo stato d'interdizione a quello di conduzione si ha se viene applicata sul terzo terminale (gate) una tensione maggiore del "gate trigger voltage" o se la tensione tra MT1 e MT2 supera il "breakover voltage".

In particolare, una volta che il triac ha iniziato a condurre, non è più necessario mantenere la tensione sul gate per sostenere la conduzione.

Il ritorno all'interdizione si verifica quando la corrente diretta scende al di sotto della "corrente di holding", più banalmente, il triac s'interdice quando la corrente che lo attraversa (tra MT1 e MT2) tende a cambiare verso.

Questo dispositivo si comporta quindi come un interruttore e per questo viene posto in serie al carico, in modo che, controllandone la conduzione si possa decidere se applicare o no la tensione di rete alla lampada; si riesce così a parzializzare molto efficacemente la potenza dissipata dal filamento della lampada e quindi la sua emissione luminosa.

Risultato subito evidente che il problema da risolvere attraverso il nostro microcontrollore diventa quello di gestire il ritardo relativo tra l'attraversamento dello zero della tensione di rete di rete e l'istante d'accensione del triac.

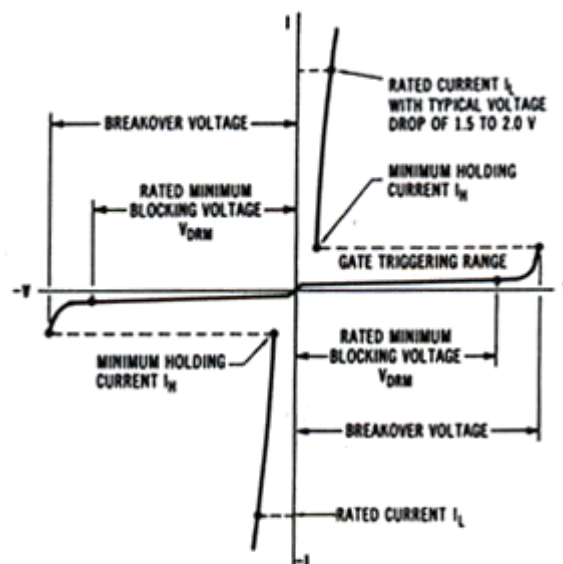


Figura 7.2 Caratteristica Tensione – Corrente dei Triac

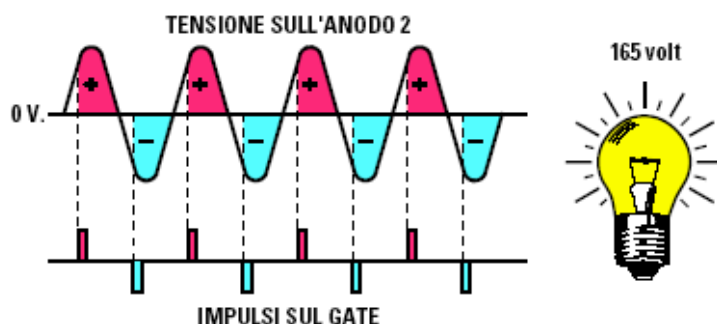


Figura 7.3 Strategia per il Controllo della Luminosità di una Lampada Incandescente

7.2.1 Riconoscimento dello Zero-Crossing della tensione di rete

Al fine di stabilire l'istante d'attraversamento dello zero da parte della tensione di rete sono state prese in considerazione varie soluzioni circuitali.

Ad oggi quasi tutti i microcontrollori in commercio di fascia media integrano al loro interno un comparatore analogico ed in particolare lo integra anche il microprocessore da noi utilizzato.

Si è quindi giunti allo schema semplificato di figura 7.4.

Come trasformatore è stato scelto un piccolo Block da soli 0.35 VA. Siccome la sua funzione doveva essere solo quella di dare il riferimento di fase al nostro micro, la sua leggerezza (20g), le sue dimensioni contenute (22 * 23 * 15 mm) e il suo basso assorbimento a vuoto lo rendevano ideale al nostro caso.

I sei Veff sul secondario opportunamente partizionati attraverso le resistenze da 800K e 200K giungono al piedino del micro corrispondente all'ingresso positivo del comparatore interno.

Il piedino negativo del comparatore è stato collegato ad una tensione continua da 2.5 V ottenuta partizionando con le due resistenze da 500K i 5 V d'alimentazione del micro.

Sul piedino positivo del comparatore oltre ai 2.5 VDC viene a trovarsi anche un'oscillazione sinusoidale di 1.7 V di picco che farà scattare il comparatore e la relativa ISR aggiornando il micro sull'avvenuto attraversamento dello zero.

Questa soluzione è stata effettivamente utilizzata in laboratorio e si è dimostrata molto efficace anche senza l'ausilio di condensatori sui piedi esterni del comparatore; le transizioni multiple a cavallo dello zero dovute al rumore sono state eliminate grazie ad una particolare gestione software dell'attraversamento dello zero.

In realtà esiste una soluzione ancora più brillante, che ci viene indicata in una "application note" (AVR182: Zero Cross Detector) degli AVR.

Questa soluzione, vedi figura 7.5, si presenta molto semplice.

Tutti i micro AVR per proteggersi da tensioni superiori a Vcc e inferiori a GND, posseggono sui pin d'ingresso due diodi di clamping che fissano ogni tensione superiore a

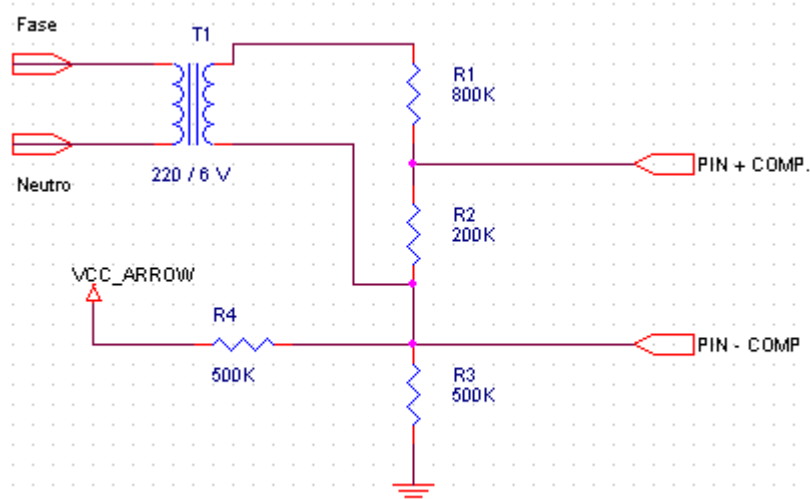


Figura 7.4 Rete per il Riconoscimento dello Zero-Crossing

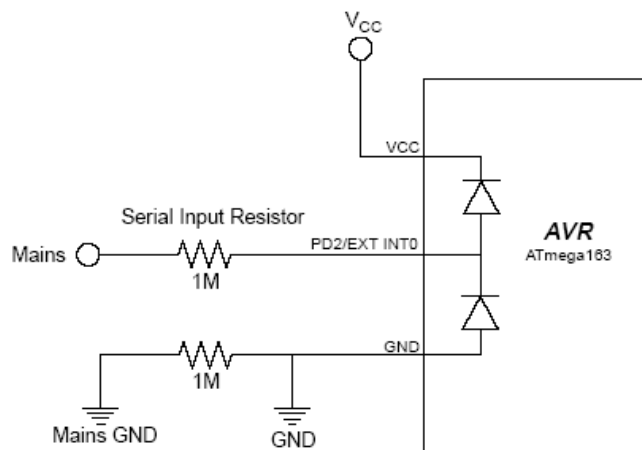


Figura 7.5 Rete Alternativa per il Riconoscimento dello Zero-Crossing

$V_{CC}+0.5\text{ V}$ a $V_{CC}+0.5\text{ V}$ e ogni tensione inferiore a $GND-0.5$ a $GND-0.5\text{ V}$ (0.5 rappresenta la caduta sul diodo).

Aggiungendo due resistenze da 1M questi diodi possono essere utilizzati per convertire una sinusoide ad alta tensione in un'onda quadra a bassa tensione, con ampiezza compatibile alle tensioni d'alimentazioni del micro ($\pm 0.5\text{ V}$).

In realtà la squadra RC formata dalla resistenza e dalla capacità parassita del pin dà un certo sfasamento tra la tensione di rete e l'onda quadra vista dal micro che, a conti fatti, risulta ben poca cosa.

Poca cosa risulta anche il fatto che in realtà in questo modo, per essere precisi, si rileva l'attraversamento della soglia $V_{CC}/2$ e non proprio 0 V .

L'IRS sarà attivata con un po' di ritardo in salita e un po' d'anticipo in discesa.

Di seguito sono rappresentate le forme d'onda dei vari segnali:

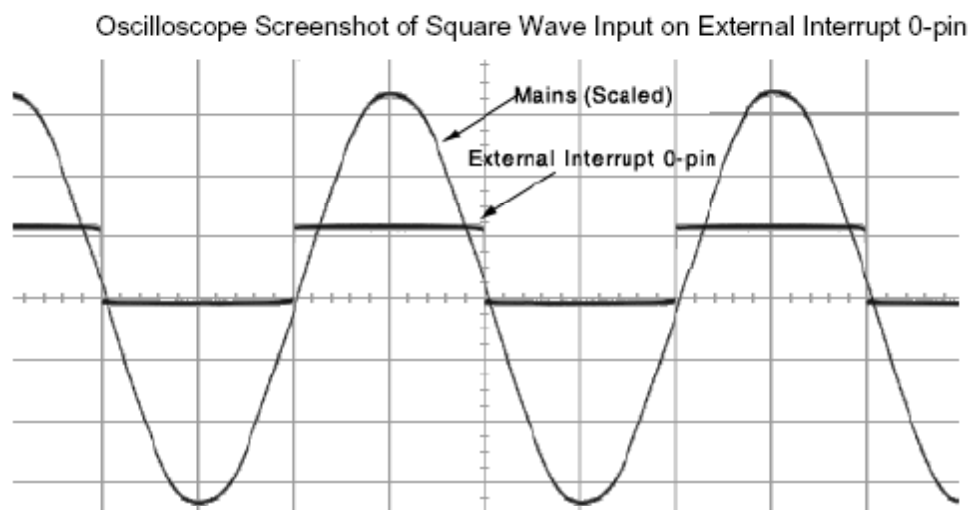
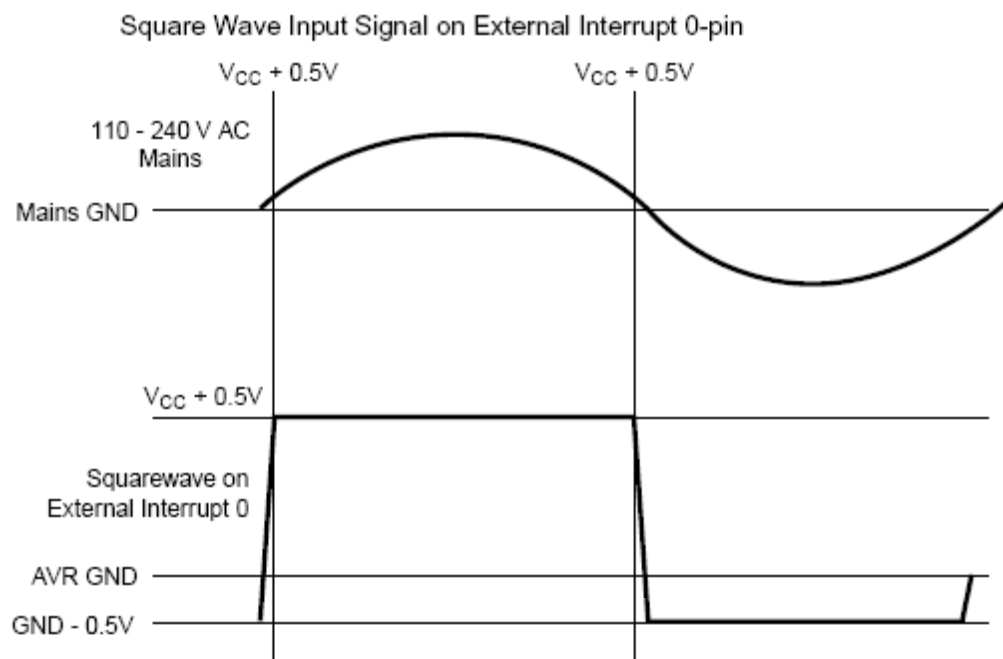


Figura 7.6 Forme d'onda dei Segnali Relativi alla Soluzione Alternativa per il Riconoscimento dello Zero-Crossing della Tensione di Rete

In conclusione, però, osserviamo che non ci viene garantito nessun isolamento elettrico verso la tensione di rete; ciò oltre a rappresentare un'ulteriore via d'ingresso per il rumore nel sistema comporta non pochi problemi di sicurezza elettrica, sia per il micro, che lavora a basse tensioni, sia per eventuali utenti che maneggino il prototipo...

Per questo motivo anche valutando con molto interesse questa soluzione, abbiamo preferito utilizzare quella precedente nella costruzione del prototipo.

7.2.2 Circuito di pilotaggio del triac.

Il circuito di pilotaggio è stato realizzato utilizzando la tecnica col trasformatore d'impulsi¹⁴.

Tra i tanti modi di pilotare un triac quello con trasformatore d'impulsi risulta di certo tra i più facili. Applicando qualche semplice regola può essere realizzato un efficiente circuito di trigger del triac senza dover ridurre le sue capacità di commutazione.

Questa tecnica ci permette innanzitutto di isolare galvanicamente il micro dal circuito di potenza del triac offrendo un isolamento galvanico di qualche KV, da poi la possibilità di scegliere la polarità della corrente di gate (uso del triac nel II o III quadrante), infine ci consente di realizzare un circuito di controllo del gate con pochi componenti.

Oltre a predisporre una I_g (corrente di gate) $> 2 I_{gt}$ (gate triggering current) le precauzioni da seguire per ottenere un circuito efficiente sono sostanzialmente due:

➤ In primo luogo bisogna prestare attenzione al valore della pendenza della corrente tra gli anodi del triac durante l'attraversamento, una $(di/dt) > (di/dt)_{critica}$ potrebbe non causare lo spegnimento del triac e generare accensioni spurie. Per non correre questo rischio bisogna controllare che questa specifica sia soddisfatta dal triac utilizzato nel caso peggiore d'utilizzo; a questo proposito si fa notare che, nel nostro caso, bisogna prestare attenzione soprattutto alle correnti transitorie all'accensione dovute al fatto che il filamento della lampada alogena inizialmente avrà una resistenza minore che a regime; questo comporterà correnti iniziali maggiori, rispetto alle quali dovremo effettuare i nostri dimensionamenti.

➤ In secondo luogo bisogna considerare che, a causa del comportamento induttivo dell'avvolgimento secondario, la corrente di gate tenderà a non esaurirsi istantaneamente aumentando il rischio d'accensioni spurie nella prossima semionda, dando luogo al fenomeno conosciuto come "spurious firing".

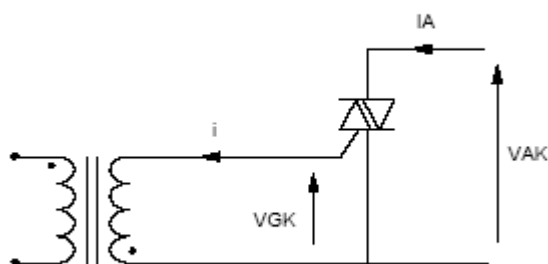


Figura 7.7 Pilotaggio del Triac con il Trasformatore di Impulsi

¹⁴ Application Note: Triac control by pulse transformer, ST.

Nella figura seguente è mostrato il fenomeno dello “spurious firing”:

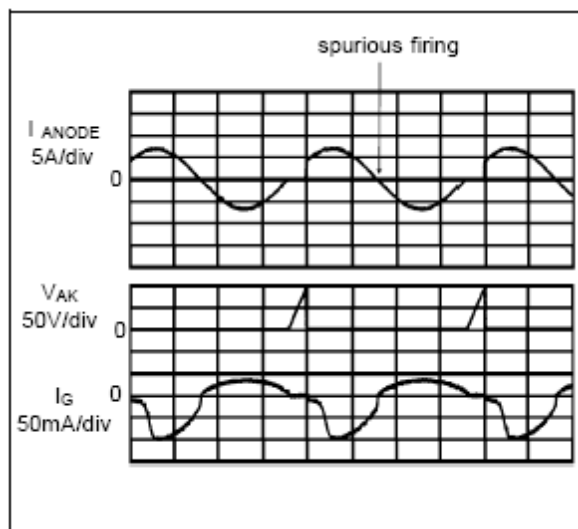


Figura 7.8 Fenomeno dello “Spurious Firing”

Questo problema è risolto introducendo nella maglia di gate del triac un diodo in serie all'avvolgimento. La caduta sul diodo V_F impedisce l'accensione spuria del triac, fornendo una via di sfogo alle cariche nel gate del triac che (nel caso non facciano in tempo a ricombinarsi durante l'attraversamento dello zero da parte della corrente anodica) possono provocare un'accensione spuria.

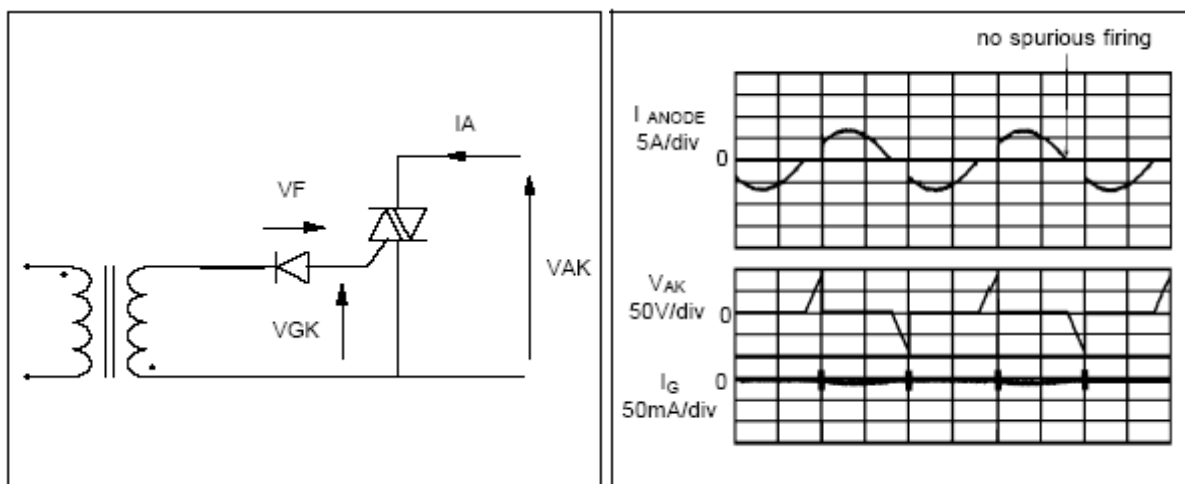


Figura 7.9 Risoluzione del Problema dello “Spurious Firing” con un Diodo in Serie all'Avvolgimento Secondario del Trasformatore d'Impulsi.

Il circuito di controllo completo della lampada è mostrato nella figura 7.10.

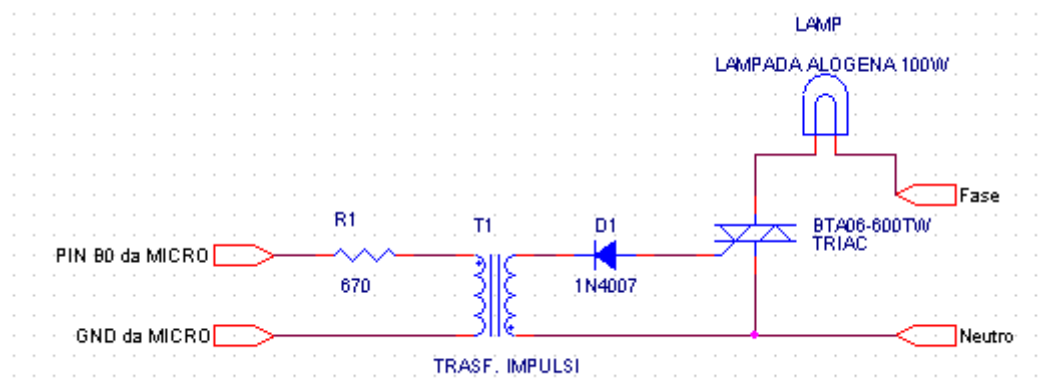


Figura 7.10 Circuito di Pilotaggio della Lampada Alogena

Il microcontrollore pilota il circuito del primario con una corrente impulsiva di circa 7 mA, visto che la sua uscita a livello alto è di 5 V e la resistenza in serie è di circa 680 Ω . Questa corrente si specchia nel secondario con rapporto 1:1 (rapporto spire del trasformatore d'impulsi) determinando l'accensione del triac e quindi della lampada alogena.

Il triac utilizzato è il BTA06-600TW particolarmente adatto al nostro caso perché può essere attivato direttamente con le tensioni d'uscita dei pin di un micro (i livelli d'attivazione del gate sono compatibili con quelli TTL e CMOS), senza prevedere uno stadio intermedio d'amplificazione tra pin e gate come si era solito fare prima dell'avvento di questi tipi di triac TW.

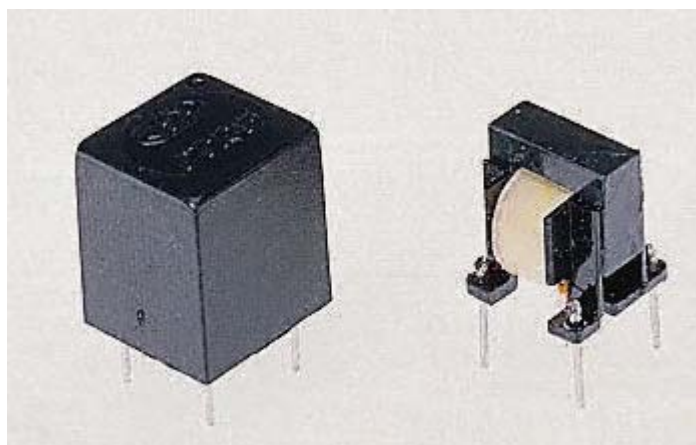


Figura 7.11 Il Trasformatore di Impulsi

7.2.3 Lampada alogena utilizzata

La soluzione vista in fase di progettazione, pensata per una lampada alogena da 300W, ma valida anche per potenze superiori (il triac garantisce un attraversamento continuo di corrente fino a 6 A), è stata leggermente modificata in fase di realizzazione.

Si è infatti preferito, per ragioni di sicurezza elettrica, di utilizzare una lampadina alogena da 20 W opportunamente isolata e alimentata da un trasformatore da 30 VA; questo ci ha garantito non solo maggiore sicurezza ma anche la possibilità di montare la lampadina su una basetta millefori insieme al resto del circuito.

Nel caso si fosse voluto vedere a tutti i costi funzionare il circuito con una lampadina da 150 W o 300 W sarebbe stata cosa buona prevedere un trasformatore d'isolamento, che sfortunatamente in laboratorio non era presente: ci siamo così accontentati di una soluzione a bassa potenza che comunque valida la bontà dei ragionamenti fin qui effettuati.

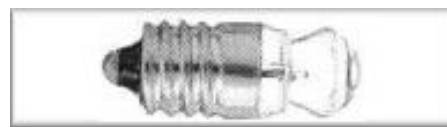


Figura 7.12 Lampadina Alogena da 20W Utilizzata per le Prove di Laboratorio



Figura 7.13 Lampada Alogena da 300W sulla quale si è dimensionato il circuito

7.2.4 Modifiche al firmware realizzato per la soluzione a lampada alogena.

Andiamo ora ad analizzare il software di gestione del sistema per la lampada alogena, facendo riferimento alle sole parti variate rispetto alla soluzione a led già presentata.

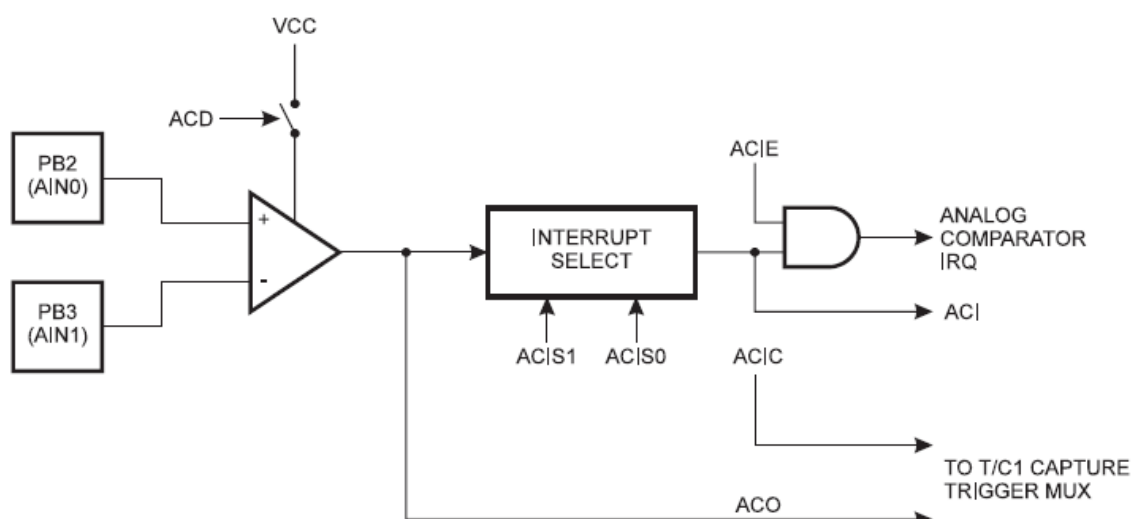
Abbiamo già accennato alla strategia che avremmo utilizzato per controllare l'intensità luminosa della lampada; nei paragrafi precedenti abbiamo presentato la soluzione hardware, ora non ci resta che vedere come il tutto è armonizzato via software dal nostro microcontrollore.

Le differenze dal caso a Lampada Led riguardano solamente il pilotaggio e la gestione della lampada alogena, sorvoleremo su tutto ciò che si è già detto.

Tutto ciò che segue s'intende valido a lampada accesa.

Routine d'Interrupt del comparatore: DELAY.

Il micro viene informato dell'attraversamento dello zero da parte della sinusoide di rete a 50 Hz dal circuito Zero Crossing Detector che è collegato ai pin d'ingresso PB2 (+) e PB3 (-) del comparatore analogico del micro.



Analog Comparator Control and Status Register – ACSR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$08 (\$28)	ACD	-	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	ACSR
Read/Write	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	N/A	0	0	0	0	0	

Figura 7.14 Schema a Blocchi del Comparatore del Micro e Relativo Registro di Controllo

Il comparatore viene reso sensibile sia ai fronti in salita che in discesa settando la richiesta d'interrupt sulla modalità "Output Toggle".

I bit ACIS1/ACIS0 del registro ACSR vengono messi a zero secondo quanto previsto dalla tabella in figura 7.15 che stabilisce quale tipo d'evento triggeri l'interrupt del comparatore.

All'attraversamento dello zero scatta la routine d'interrupt relativa al comparatore analogico chiamata DELAY.

ACIS1	ACIS0	Interrupt Mode
0	0	Comparator Interrupt on Output Toggle
0	1	Reserved
1	0	Comparator Interrupt on Falling Output Edge
1	1	Comparator Interrupt on Rising Output Edge

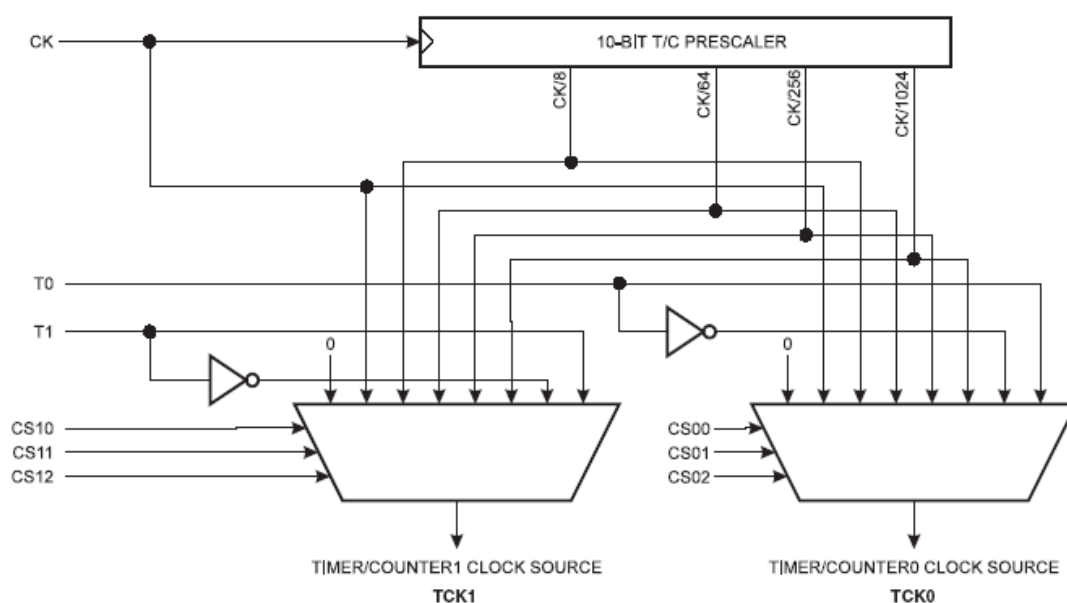
Figura 7.15 Modalità d'Attivazione dell'Interrupt Relativo al Comparatore

Questa innanzitutto salva il contenuto del registro di stato SREG, poi inizializza il contenuto del registro OCR1AH a zero e il contenuto del registro OCR1AL al valore contenuto nel registro ritardoL.

Il registro a 16 bit OCR1A contiene il valore che viene continuamente confrontato con quello del Timer/Counter1.

Il TC1 in accordo a quanto specificato nel registro TCCR1B, ha il prescaler settato con $T = T_{clk}/256$.

Timer/Counter Prescaler



Timer/Counter1 Control Register B – TCCR1B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
\$2E (\$4E)	ICNC1	ICES1	–	–	CTC1	CS12	CS11	CS10	TCCR1B
Read/Write	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Clock 1 Prescale Select

CS12	CS11	CS10	Description
0	0	0	Stop, the Timer/Counter1 is stopped.
0	0	1	CK
0	1	0	CK/8
0	1	1	CK/64
1	0	0	CK/256
1	0	1	CK/1024
1	1	0	External Pin T1, falling edge
1	1	1	External Pin T1, rising edge

Figura 7.16 Configurazione del Timer per la Generazione del Ritardo con cui Attivare il Triac Rispetto allo Zero-Crossing della Tensione di Rete.

Ciò significa che il massimo ritardo accettabile di 10 ms, viene raggiunto col valore del registro ritardo pari a 150. Messaggi d'interfaccia segnalano l'inconsistenza di valori introdotti superiori.

Prima di ripristinare il valore dello SREG e di uscire dalla routine viene fatta una cosa molto importante.

Nel paragrafo relativo allo zero crossing detector si era accennato ad un artificio software per evitare transizioni multiple e quindi la ripetizione involontaria di più volte consecutive della routine DELAY; la soluzione adottata è quella di disabilitare il comparatore dopo il suo primo scatto fino alla successiva generazione dell'impulso del triac, cosa che viene ottenuta cancellando il bit d'abilitazione del comparatore agli interrupt ACIE (Analog Comparator Interrupt Enable)

In effetti si è riscontrato che senza questo artificio la routine veniva eseguita anche 20 30 volte ad ogni attraversamento dello zero, cosa che in pratica non crea problemi fino a quando non si decide, ad esempio, di fare misure approssimative di tempo inserendo nella routine un contatore d'intervalli da 10 ms.... cosa che puntualmente è stata fatta ed in un primo momento ha creato non pochi problemi...

Quando il valore contenuto nel Timer/Counter1 uguaglia quello del registro OCR1A si attiverà la routine d'interrupt IMPULSE.

1. Timer/Counter1 Block Diagram

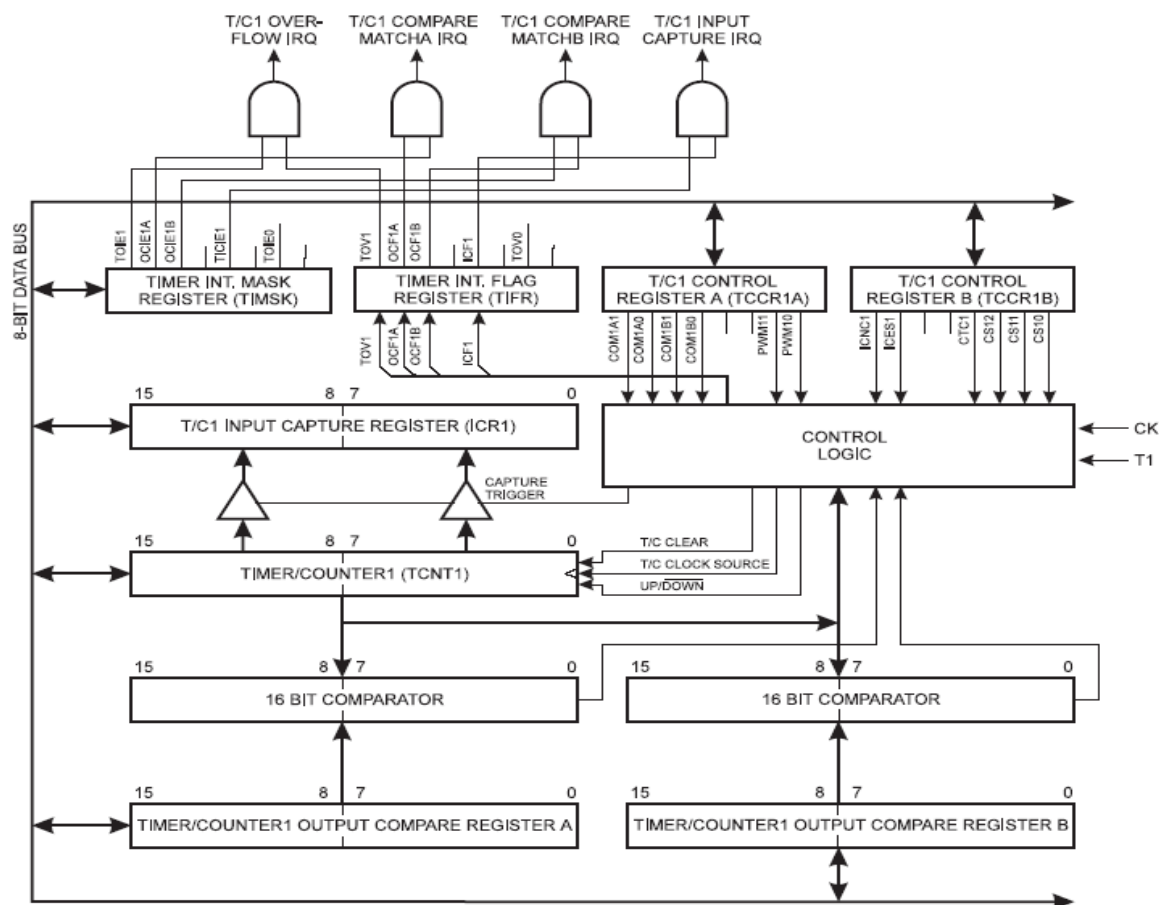


Figura 7.17 Configurazione del Timer Counter 1 per Generare dell'Impulso Ritardo

Timer/Counter1 Output Compare Register – OCR1AH AND OCR1AL

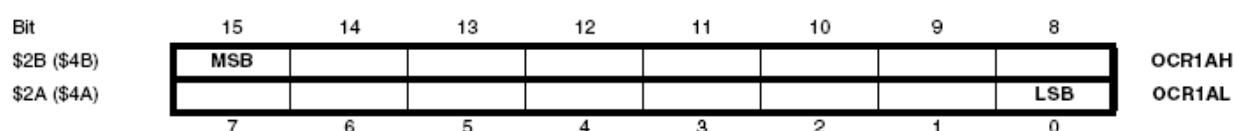


Figura 7.18 I Registri OCR1AH:OCR1AL Contenenti il Valore Continuamente Confrontato con quello Attuale del Timer

Routine d'Interrupt dell'OCR1A: IMPULSE

Questa ISR è abilitata nelle inizializzazioni del microprocessore settando il bit OCIE1A nel registro TIMSK (Timer/Counter Interrupt Mask Register).

Timer/Counter Interrupt Mask Register – TIMSK

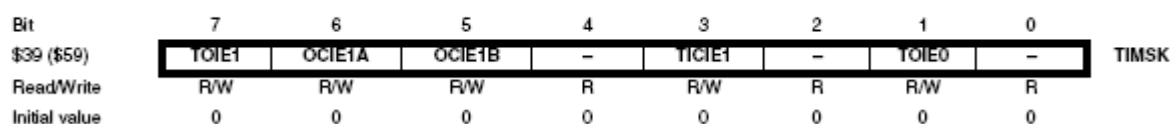


Figura 7.19 Registro di Mascheramento/Attivazione degli Interrupt relativi al TC1

Questa routine provvede a fornire l'impulso al triac: il pin d'uscita PA0 è settato e mantenuto ad uno attraverso il loop HOLD, per un periodo sufficiente ad innescare il triac.

Successivamente il TC1 viene spento, inserendo zero nel registro TCCR; il valore del TC1 (nei registri TCNT1H e TCNT1L) viene altresì azzerato.

Timer/Counter1 – TCNT1H AND TCNT1L

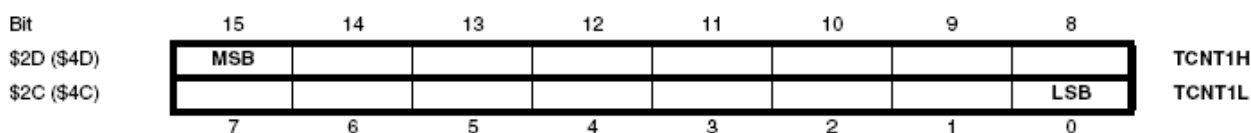


Figura 7.20 I Registri TCNT1H:TCNT1L contenenti il valore attuale del TC1

In fondo alla routine prima di ripristinare lo SREG viene riabilitato il comparatore in accordo a quanto detto nel paragrafo precedente.

7.3 Soluzione per il controllo remoto di un tubo fluorescente

Abbiamo già accennato, quando si è parlato della tecnologia di questo tipo di fonti luminose, che una delle loro caratteristiche negative è che mal si prestano ad una regolazione efficace della luminosità.

Ciò è dovuto alla complessità dei fenomeni fisici che avvengono nel tubo e alla loro forte non linearità. Come ben si può intuire, il punto debole di questi tubi sono i filamenti: per evitare danni a queste parti bisogna prendere particolari precauzioni:

- I filamenti, specialmente nei tubi a catodo caldo da noi presi in considerazione, devono essere accuratamente riscaldati ad una temperatura di 700-1000

°K. Temperatura più basse o più alte potrebbero essere molto dannose generando fenomeni quali “sputtering” e/o evaporazione.

- Durante il pre-riscaldamento, la tensione ai capi del tubo deve essere mantenuta la più bassa possibile; una tensione troppo alta innescerebbe nocivi fenomeni di “glow discharge”.
- La tensione d’innesco per l’arco deve essere fornita solo dopo che i filamenti hanno raggiunto la giusta temperatura.
- Accesa la lampada, l’eccitazione ai filamenti andrebbe ridotta.
- Andrebbero in ogni caso evitate eccessive densità di corrente nei filamenti in ogni caso.

Questo tipo di problemi sono stati studiati e risolti in alcune tesi di questo stesso dipartimento riportate in bibliografia.

Si rimanda a questi testi per una maggiore descrizione di queste problematiche.

Ciò che ci preme sottolineare in questa fase è che la soluzione che viene proposta rappresenta una risposta innovativa alla problematica della regolazione dei tubi fluorescenti.

Mentre in commercio si possono trovare soluzioni per il dimmer di tubi attraverso non pratici e costosi alimentatori (induttanze elettroniche), pilotati da un’interfaccia analogica (0 –10 V) a due fili, la soluzione in questo caso proposta ricalca la tecnica della regolazione dell’induttanza elettronica (PWM) ma simulandola via software.

7.3.1 Soluzione Circuitale.

Il circuito elettrico di pilotaggio delle lampada è il seguente¹⁵:

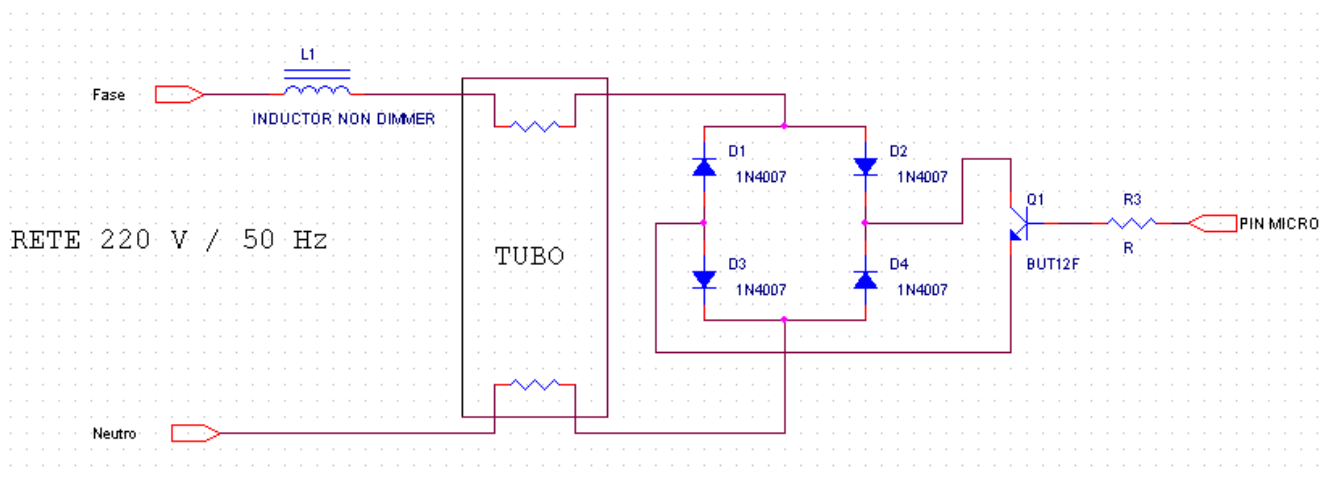


Figura 7.21 Il Circuito di Pilotaggio del Tubo Fluorescente

¹⁵ Tratto dal lavoro di Tesi di Cristina Coviello, *Regolazione dell'intensità luminosa dei tubi fluorescenti*, Tesi di Laurea, Università di Pisa, Corso di Studi in Ingegneria Elettronica, 2003

Questa configurazione ricalca lo schema già visto:

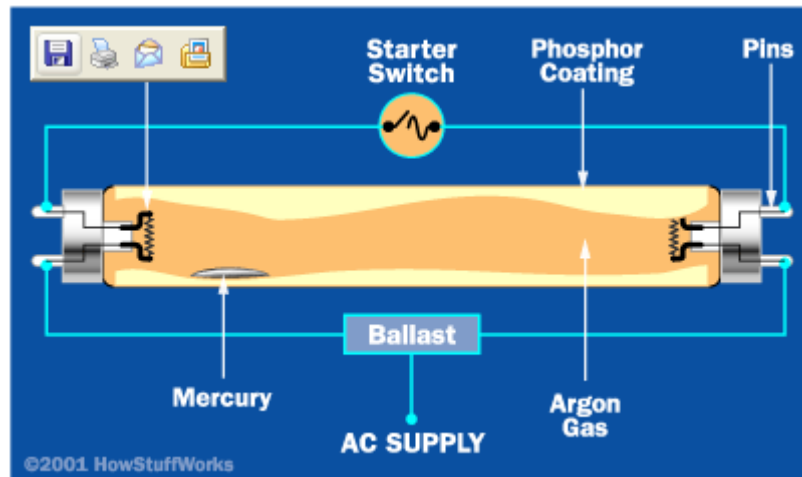


Figura 7.22 Schema Grafico di Riferimento per il Circuito Adottato

Forse meglio comprensibile in questa forma:

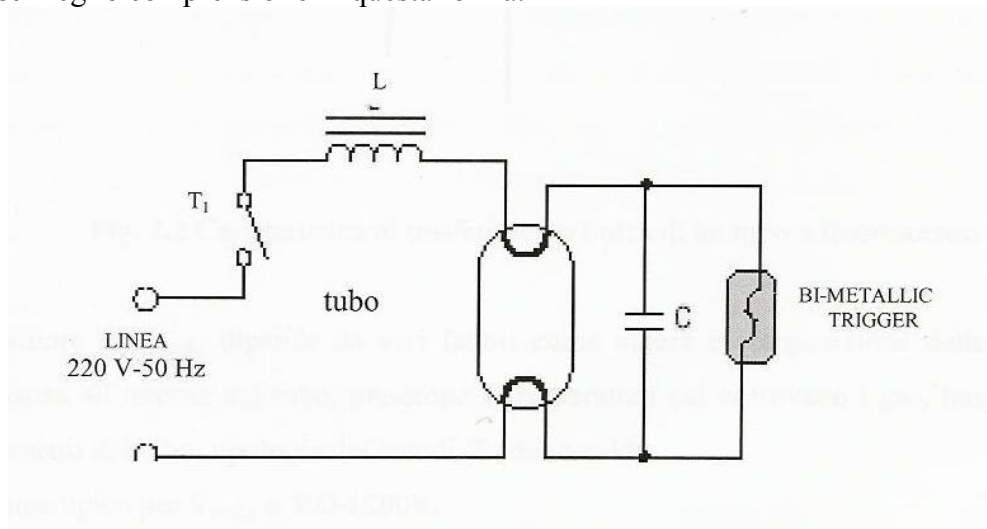


Figura 7.23 Schema Elettrico di Riferimento

L'induttanza ha il classico scopo di limitatore di corrente, in questo caso non è di quelle elettroniche (molto più costose) ma di tipo non-dimmer.

In parallelo al tubo vi è un ponte di Graetz, costituito da quattro diodi di potenza 1N4007, che fornisce una tensione raddrizzata al transistor, anch'esso di potenza (un classico BUT12F isolato), che funge da interruttore.

Il tubo da utilizzare deve essere sprovvisto di starter, poiché è il circuito a destra a fungere da accenditore.

Il nostro micro attraverso la sua uscita PWM sulla base del transistor gestirà la corrente media che attraversa il tubo.

Quando il transistor è acceso tutta la corrente proveniente dalla linea attraverserà il transistor, e cosa assai benefica continuerà a passare comunque nei filamenti tenendoli alla giusta temperatura (evitando i suddetti fenomeni deteriorativi di glow discharge e sputtering).

Maggiore è il tempo in cui il transistor resta acceso e minore è la corrente media che attraversa il tubo, ne risulta un pilotaggio a PWM invertita.

7.3.2 Modifiche al Firmware.

Questo tipo di circuito viene pilotato dal nostro micro, al cui firmware vengono apportate solo due piccole modifiche, infatti trattandosi anche in questo caso di regolare un'intensità luminosa attraverso un controllo PWM il firmware della soluzione a LED e quello per il tubo risultano altamente compatibili.

Una prima modifica è di prevedere una procedura di riscaldamento dei filamenti ogni qual volta si riaccenda la lampada.

In questa procedura si fissa un "duty cycle" dell'onda PWM allo 0.8 per un periodo pari a qualche decimo di secondo; in quest'intervallo avendo quasi cortocircuitato il tubo, la lampada non potrà accendersi e sui filamenti scorrerà quasi la massima corrente possibile.

La seconda modifica è ancora più banale: bisogna invertire la PWM, giacché più accendiamo il transistor e più togliamo corrente alla lampada.

Per il resto, a livello di firmware, resta tutto come nella soluzione per BlueLamp.

Conclusioni

Lo scopo di questo lavoro era di proporre una soluzione per il controllo di una Lampada Multifunzionale “Intelligente”.

Le specifiche iniziali, di integrare su un unico prodotto tutte le funzionalità delle lampade intelligenti già esistenti, si sono rivelate realizzabili.

Si è dimostrato come la sinergia tra un sensore di presenza e un sensore di luminosità possa quasi esaurire del tutto le potenzialità che si richiedono ad una lampada domotica intelligente.

Si è visto come, in modalità automatica, bastino il livello di luce presente nell’ambiente e l’individuazione della presenza dell’utente per stabilire una strategia consistente per l’accensione/spegnimento della fonte luminosa.

Questa modalità di funzionamento del dispositivo non vuole solo venire incontro alle esigenze di persone diversamente abili o anziane, né si vuole solamente evitare che un comune utente debba premere il pulsante della luce in entrata e in uscita dall’ambiente dove il dispositivo è installato, bensì si cerca anche di evitare tutta una serie di sprechi energetici. Si pensi, infatti, a quante volte capita di dimenticare la luce accesa quando si esce; oppure quante volte capita di tenere la luce accesa quando il livello di luce esterna è già alto e non ce ne si accorge.

Sperperi di questo genere comportano sia una spesa maggiore sulla bolletta elettrica del consumatore, sia un maggior inquinamento ambientale dovuto al dispendio di risorse energetiche.

Il dispositivo permette poi ad un utente più esigente di regolare la luminosità della lampada, consentendogli di ottenere sempre scenari di illuminazione confortevoli.

Le interfacce realizzate si sono dimostrate intuitive ed efficaci, permettendo il controllo della lampada (modalità Manuale) anche da parte di un utente non esperto: pulsanti, manopole e selettori non necessitano certo di spiegazioni.

La possibilità di poter configurare un semplice sistema di allarme si presenta comunque utile in molti casi: si osservi inoltre che questa funzionalità è stata ottenuta senza l’ausilio di componenti aggiuntivi (il sensore di presenza doveva comunque essere presente).

Il vero valore aggiunto di questa Lampada Multifunzionale resta comunque il suo link wireless Bluetooth, non solo perché permette di controllare la fonte luminosa remotamente senza fili ma soprattutto perché apre il nostro sistema all’interazione con altri dispositivi.

L’integrazione in ottica domotica con altri elettrodomestici ne è solo un esempio. Il Bluetooth, infatti, ci consente di interagire con molti dispositivi elettronici di ultima generazione (cellulari, palmari..), garantendo al nostro sistema di configurarsi immediatamente e automaticamente in una rete wireless di dispositivi Bluetooth generici.

La struttura del sistema a microcontrollore, grazie alla sua flessibilità, ci consente di aggiornare facilmente il software del sistema e di renderlo adatto al funzionamento con le varie tipologie di fonti luminose esaminate.

Una caratteristica davvero innovativa della Lampada è quella di consentire l’aggiornamento del software senza dover accedere fisicamente al dispositivo.

Infatti la sinergia tra il link wireless seriale Bluetooth e le nuove caratteristiche dei microprocessori che implementano la possibilità del BootLoader, ci ha reso possibile progettare un dispositivo il cui software possa essere aggiornato direttamente dalla postazione remota.

Caratteristiche come queste rendono la Lampada Multifunzionale “BlueLamp” un dispositivo innovativo rispetto ai prodotti presenti attualmente sul mercato.

Il fatto poi di essere stato progettato con fonte luminosa a Led ci ha permesso di studiare tutte le problematiche che per una lampada di questo tipo bisogna affrontare (alimentazione, costruzione, dimensionamento termico...): ora, in un certo senso, non bisogna fare altro che aspettare che i Led diventino sempre più luminosi ed efficienti per poterli applicare in sistemi sempre più generici...

Notizie incoraggianti in questo senso non mancano: al momento dell'acquisto dei Led sul mercato la versione più potente era quella a tre Watt, pochi giorni fa è stata messa in commercio una versione dello stesso Led a cinque Watt...

Abbiamo più volte sottolineato come l'esigenza del controllo remoto di una fonte luminosa sia una problematica molto sentita in vari ambiti: noi ci siamo preoccupati del caso particolare di una sola fonte luminosa, ma proviamo ad immaginare come un sistema come il nostro possa risultare utile in casi con molte fonti: controllo luci in teatri, locali notturni, ambienti pubblici, commerciali, industriali, sistemi di illuminazione per festival all'aperto...

Elenco delle Figure

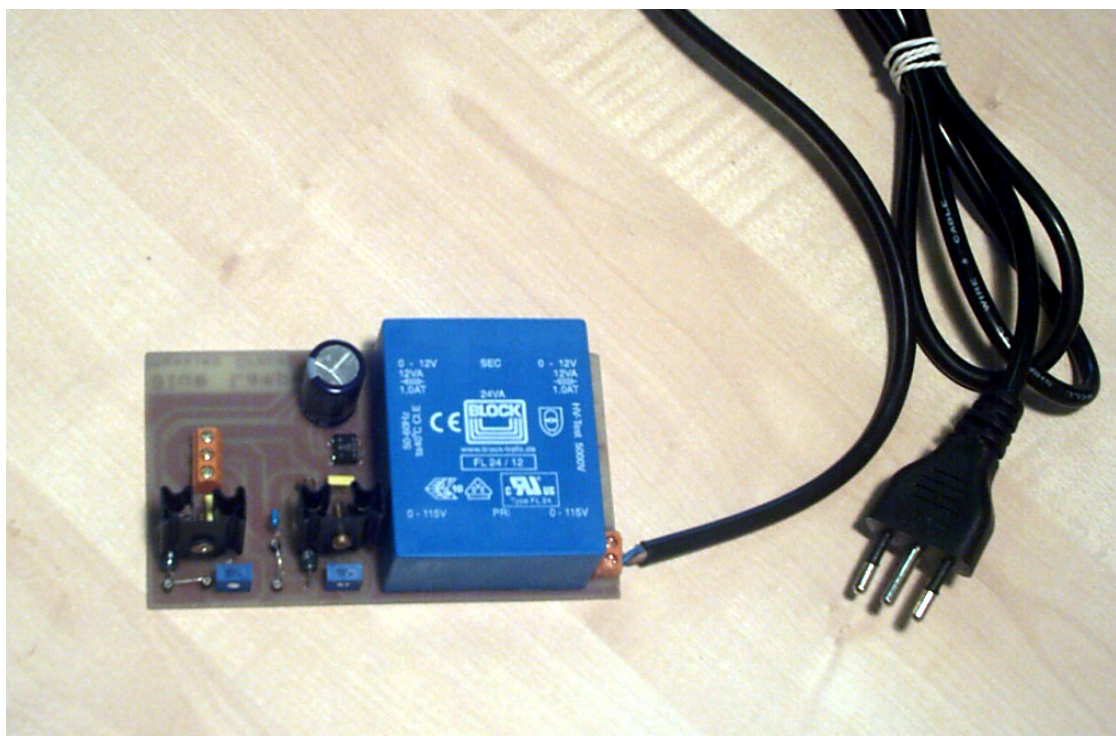
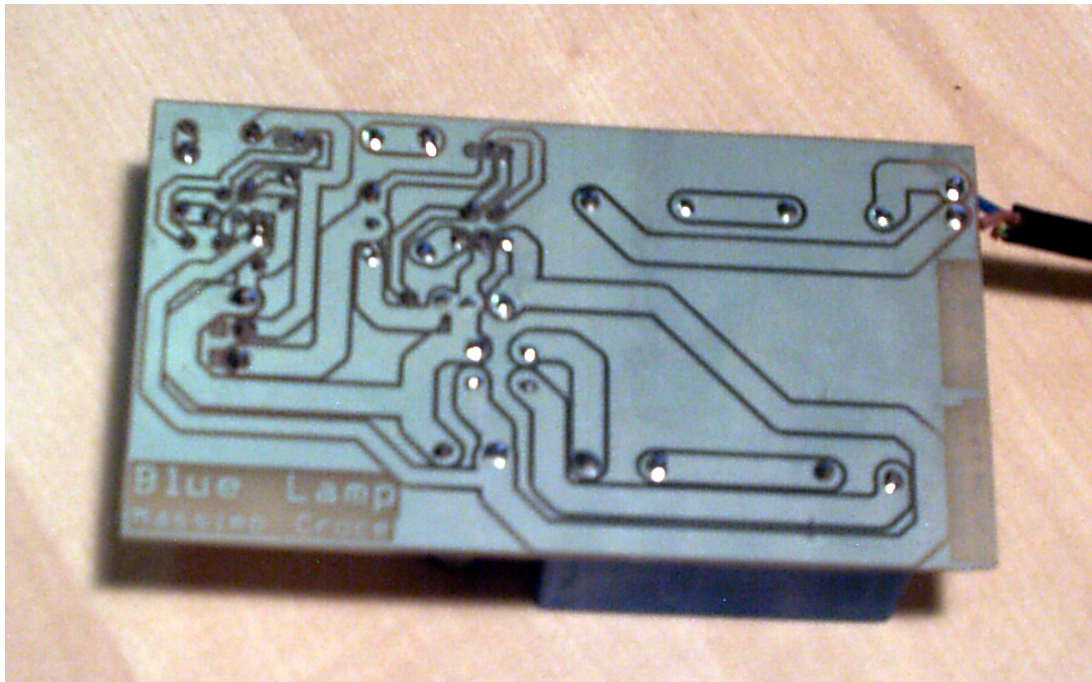
Figura 1.1 Pannello di indicazione e controllo della VI "Interfaccia.vi"	6
Figura 1.2 Pannello di indicazione e controllo del dispositivo.....	7
Figura 2.1 Topologia delle reti Bluetooth.....	9
Figura 2.2 Il kit di sviluppo Bluetooth CASIRA di CSR.....	10
Figura 2.3 Schema a blocchi dell'hardware dell'Example Design.....	11
Figura 2.4 Possibili Tipologie di connessioni seriali dell'Example Design.....	12
Figura 2.5 Dongle Bluetooth per il collegamento seriale, costruito secondo l'Example Design.....	13
Figura 2.6 BlueFash Dialog Box.....	14
Figura 2.7 Persistente Storce Settings.....	14
Figura 2.8 RS232 Bluetooth Serial Adapter (a sinistra per DCE, a destra per DTE) di Brainboxes.....	16
Figura 2.9 RS232 Bluetooth Serial Adapter di Adamya.....	17
Figura 2.10 La vasta offerta di serial adapter di Connect Blue	18
Figura 2.11 Predisposizione dei dispositivi alle scatternet con la strategia dell'HOTSPOT.....	18
Figura 2.12 Il Serial Adapter ConnectBue.....	19
Figura 2.13 Moduli BlueWave per il rimpiazzo dei cavi seriali.....	20
Figura 2.14 Il Modulino BlueWave.....	20
Figura 3.1 Curva Fotopica e Scotopica.....	21
Figura 3.2 Equivalenza lumen-candela.....	22
Figura 3.3 Definizione d'Illuminamento.....	22
Figura 3.4 Scala delle Temperature di colore.....	22
Figura 3.5 I Colori del Test Ra.....	22
Figura 3.6 Lampada ad incandescenza.....	23
Figura 3.7 Emissione delle sorgenti incandescenti.....	24
Figura 3.8 Lampada Alogena.....	24
Figura 3.9 Tubo Fluorescente.....	25
Figura 3.10 Fenomeni fisici del tubo fluorescente.....	26
Figura 3.11 Circuiti elettrici per il tubo fluorescente.....	27
Figura 3.12 Funzionamento dello Starter.....	27
Figura 3.13 Rivestimento con Alofosforo e Trifosforo.....	28
Figura 3.14 Caratteristiche Spettrali d'emissione delle comuni lampade ad arco (sinistra) e dei tubi all'alofosforo (destra).....	28
Figura 3.15 Emissione di un tubo con rivestimento al trifosforo.....	29
Figura 3.16 Tubo Compatto.....	29
Figura 3.17 Lampada a scarica ad alta densità.....	30
Figura 3.18 Emissione delle lampade ad alogenuri metallici e al sodio.....	30
Figura 3.19 Tipica curva ad S dello sviluppo di ogni nuova tecnologia.....	32
Figura 3.20 Consumi e Efficienza delle lampade tradizionali, organizzate per tipologie, CRI e Settore di Impiego.....	33
Figura 3.21 Previsione della domanda di luce negli USA	34
Figura 3.22 Variazioni annuali nel parco lampade.....	34
Figura 3.23 Stima dei miglioramenti delle performance e contestuale abbassamento dei prezzi per i LED.....	35
Figura 3.24 Stima dei miglioramenti delle performance e contestuale abbassamento dei prezzi per gli OLED.....	35

Figura 3.25 Possibili Scenari di crescita in base al diverso investimento del governo USA.....	36
Figura 3.26 Stima della penetrazione nel mercato delle lampade in ambito commerciale.....	36
Figura 3.27 Stima dell'aumento dell'efficienza e del tempo di vita medio delle lampade al variare del gruppo di CRI di appartenenza.....	37
Figura 3.28 Stima del consumo globale energetico per Illuminazione fino al 2025, al variare dello scenario di investimento del governo negli USA.....	37
Figura 3.29 Il Luxeon Array, I Luxeon Ring e il Luxeon Flood.....	39
Figura 3.30 Varie Tipologie di LED Luxeon Emitter.....	40
Figura 3.31 Varie Tipologie di LED Luxeon Star: quello più destra rappresenterà la scelta per il nostro prototipo.....	41
Figura 4.1 Il MiniPIR: un sensore di presenza a infrarossi passivi.....	42
Figura 4.2 Diagramma a Blocchi del MiniPIR.....	42
Figura 4.3 Le Dimensioni del MiniPIR.....	43
Figura 4.4 Caratteristiche Elettriche del MiniPIR.....	43
Figura 4.5 Capacità di Rilevamento del MiniPIR.....	44
Figura 4.6 Sezioni Trasversali delle "Detection Zones".....	44
Figura 4.7 Sezione X-Y delle "Detection Zones".....	45
Figura 4.8 Rilevazione di un Corpo a Temperatura Diversa dal Background.....	45
Figura 4.9 Valori Nominali Massimi per il MiniPIR.....	45
Figura 4.10 Stabilizzazione Termica del MiniPIR.....	46
Figura 4.11 Robustezza del Sensore nei Confronti dei Disturbi.....	46
Figura 4.12 Diagramma a Blocchi del Sensore di Luminosità.....	47
Figura 4.13 Diagramma della Frequenza di OUT rispetto all'Irradianza sul Sensore.....	47
Figura 4.14 Caratteristiche Elettriche ed Operative del Sensore.....	48
Figura 4.15 Risposta Spettrale del Fotodiodo e Coeff. Di Temp. dell' Uscita.....	48
Figura 4.16 Collegamento Diretto tra il Sensore e il Microcontrollore.....	49
Figura 4.17 Il Sensore di Temperatura della Maxim.....	50
Figura 4.18 Forma d'onda in uscita dal Sensore.....	50
Figura 4.19 Accuratezza del Sensore.....	51
Figura 4.20 Accuratezza e Dissipazione al variare della Temperatura per i Sensori MAX6577/76.....	51
Figura 4.21 Ampiezza di Rumore in Uscita per i Sensori MAX6577/76.....	51
Figura 4.21 Il Timer 555 in configurazione Multivibratore Astabile.....	53
Figura 5.1 In Alto lo Schema Elettrico della Parte di Potenza; qui Accanto il Trasformatore, il Ponte e il Condensatore C1.....	56
Figura 5.2 L' Integrato L200.....	57
Figura 5.3 Caratteristiche Elettriche del Regolatore di Tensione e Corrente L200 (Continua...).....	57
Figura 5.3 Caratteristiche Elettriche del Regolatore di Tensione e Corrente L200.....	58
Figura 5.4 Circuiti Applicativi dell' L200.....	58
Figura 5.5 Resistenze Termiche dell' L200.....	59
Figura 5.6 Layout del Circuito di Alimentazione del prototipo "BlueLamp".....	60
Figura 5.7 Schema Elettrico del Circuito di Segnale del Prototipo "BlueLamp".....	61
Figura 5.8 Il MOS di Potenza IRL3705N.....	61
Figura 5.9 Il Fusibile Ultrarapido da 1 A.....	61

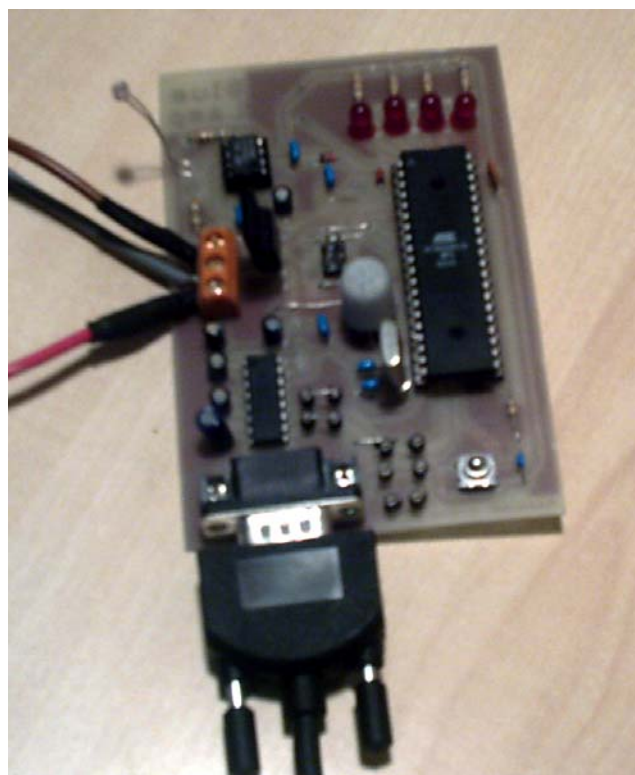
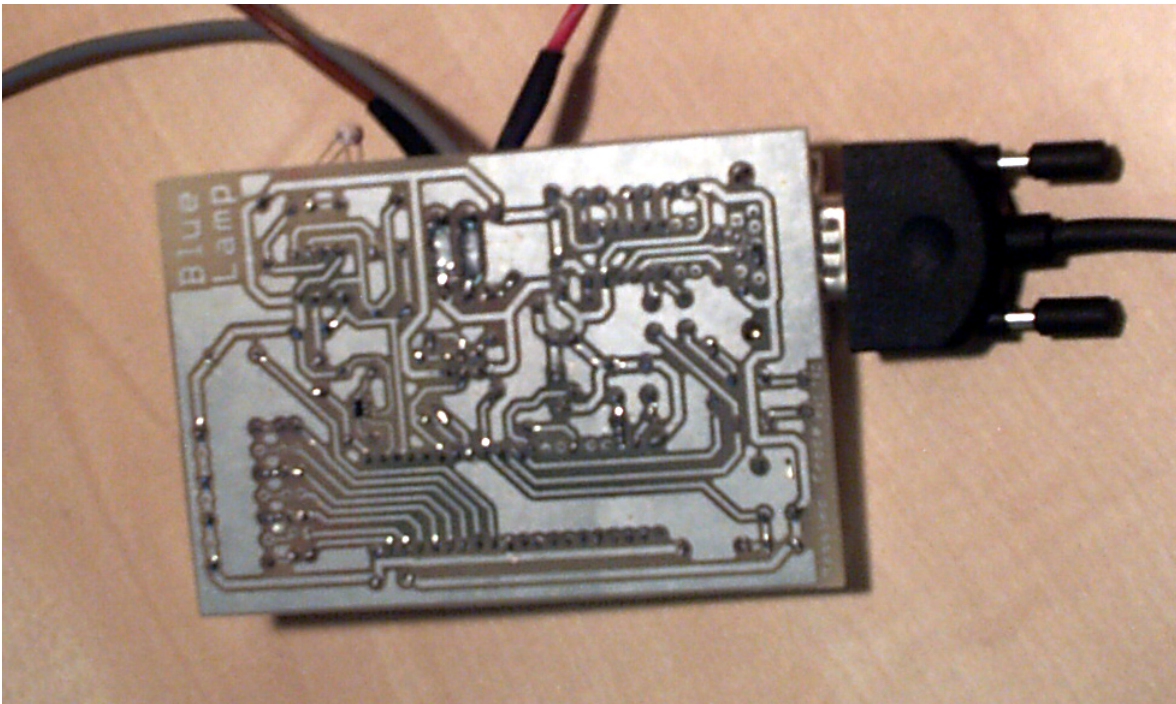
Figura 5.10 Il MAX232.....	62
Figura 5.11 Il Connettore DTE Maschio secondo lo Standard RS232.....	62
Figura 5.12 Il Buzzer.....	62
Figura 5.13 Layout del Circuito di Segnale del Prototipo “BlueLamp”.....	63
Figura 5.14 Il Led Luxeon Star di Lumileds.....	64
Figura 5.15 Caratteristiche d’Emissione del Luxeon Star Bianco da 3W.....	64
Figura 5.16 Caratteristiche Elettriche del Luxeon Star Bianco da 3W.....	64
Figura 5.17 Collegamento dei LED.....	65
Figura 5.18 Variazione del Flusso Luminoso e della Temperatura di colore al variare della Temperatura di Giunzione del LED.....	65
Figura 5.19 Massima Corrente nel Led in funzione della Temp. Amb. e con parametro Rja.....	66
Figura 5.20 Rba in funzione della Superficie dell’Aletta di Alluminio.....	66
 Figura 6.1 Il Registro a 16 bit SPH, SLP dello Stack Pointer.....	68
Figura 6.2 Il Registro di Controllo della UART: UCR.....	68
Figura 6.3 Il Registro per il Settaggio del Baud Rate della UART: UBRR.....	68
Figura 6.4 Inizializzazione del Timer/Counter 0.....	69
Figura 6.5 Il Registro per il Settaggio degli Interrupt del TC0: TIMSK.....	69
Figura 6.6 Il Registro di Controllo per il TC1: TCCR1A.....	69
Figura 6.7 Tabelle per il settaggio del Timer/Counter 1.....	70
Figura 6.8 Inizializzazione del TC1 in modalità PWM.....	70
Figura 6.9 Inizializzazione della “Sleep Mode” per il Micro.....	70
Figura 6.10 Inizializzazione del Registro di Controllo della EEprom: EECR. A destra Il Corretto Flusso d’Istruzioni per una Lettura in Memoria.....	71
Figura 6.11 Inserimento nei Registri EEARH:EEARL del valore dell’indirizzo di Lettura.....	71
Figura 6.12 Messaggi d’Interfaccia.....	72
Figura 6.13 Schema a Blocchi del Ricevitore UART.....	74
Figura 6.14 Campionamento della UART del Dato in Ricezione.....	74
Figura 6.15 Strategia per il Controllo PWM senza “Glitches”.....	77
Figura 6.16 Comportamento dell’uscita PWM nei casi limite del Registro OCR1X con valore \$0000 e TOP.....	77
Figura 6.17 Schema a Blocchi del Timer/Counter 0.....	78
Figura 6.18 Configurazione del Timer/Counter 0 per il Calcolo della Frequenza di OUT dei Sensori.....	78
Figura 6.19 Schema a Blocchi della Sezione di Trasmissione della UART.....	79
Figura 6.20 Scrittura in EEprom.....	80
Figura 6.21 Partizionamento della Flash per i Micro con Bootloader.....	81
Figura 6.22 Configurazione della Grandezza della Sezione di Boot.....	83
Figura 6.23 Modalità di Protezione della Flash.....	84
Figura 6.24 Registro dei Lock Bits per la protezione della Flash.....	84
 Figura 7.1 Simbolo del Triac.....	86
Figura 7.2 Caratteristica Tensione – Corrente dei Triac.....	86
Figura 7.3 Strategia per il Controllo della Luminosità di una Lampada Incandescente.....	86
Figura 7.4 Rete per il Riconoscimento dello Zero-Crossing.....	87
Figura 7.5 Rete Alternativa per il Riconoscimento dello Zero-Crossing.....	87
Figura 7.6 Forme d’onda dei Segnali Relativi alla Soluzione Alternativa per il Riconoscimento dello Zero-Crossing della Tensione di Rete.....	88

Figura 7.7 Pilotaggio del Triac con il Trasformatore di Impulsi.....	89
Figura 7.8 Fenomeno dello “Spurious Firing”.....	90
Figura 7.9 Risoluzione del Problema dello “Spurious Firing” con un Diodo in Serie all’Avvolgimento Secondario del Trasformatore d’Impulsi.....	90
Figura 7.10 Circuito di Pilotaggio della Lampada Alogena.....	91
Figura 7.11 Il Trasformatore di Impulsi.....	91
Figura 7.12 Lampadina Alogena da 20W Utilizzata per le Prove di Laboratorio.....	91
Figura 7.13 Lampada Alogena da 300W sulla quale si è dimensionato il circuito.....	91
Figura 7.14 Schema a Blocchi del Comparatore del Micro e Relativo Registro di Controllo.....	92
Figura 7.15 Modalità d’Attivazione dell’Interrupt Relativo al Comparatore.....	93
Figura 7.16 Configurazione del Timer per la Generazione del Ritardo con cui Attivare il Triac Rispetto allo Zero-Crossing della Tensione di Rete.....	93
Figura 7.17 Configurazione del Timer Counter 1 per Generare dell’Impulso Ritardo.....	94
Figura 7.18 I Registri OCR1AH:OCR1AL Contenenti il Valore Continuamente Confrontato con quello Attuale del Timer.....	95
Figura 7.19 Registro di Mascheramento/Attivazione degli Interrupt relativi al TC1.....	95
Figura 7.20 I Registri TCNT1H:TCNT1L contenenti il valore attuale del TC1.....	95
Figura 7.21 Il Circuito di Pilotaggio del Tubo Fluorescente.....	96
Figura 7.22 Schema Grafico di Riferimento per il Circuito Adottato.....	97
Figura 7.23 Schema Elettrico di Riferimento.....	97

APPENDICE A : LE FOTO



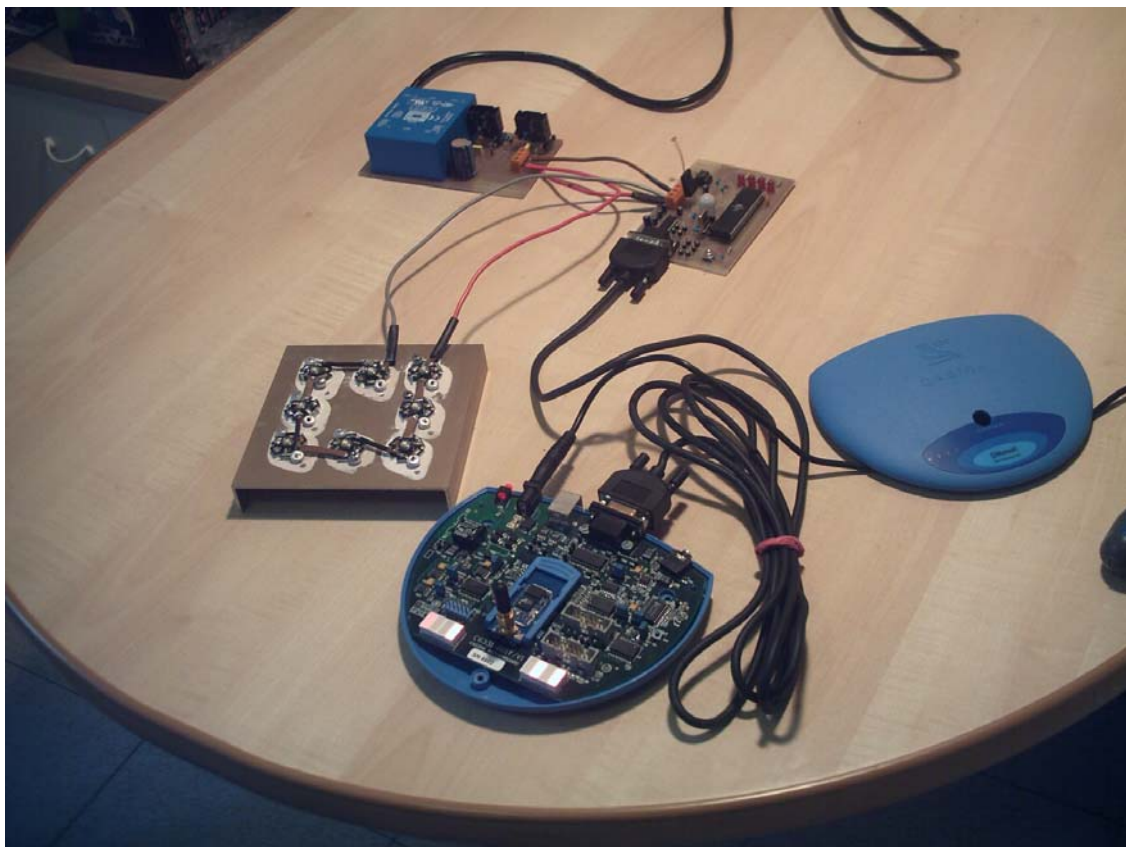
La Sezione di Potenza



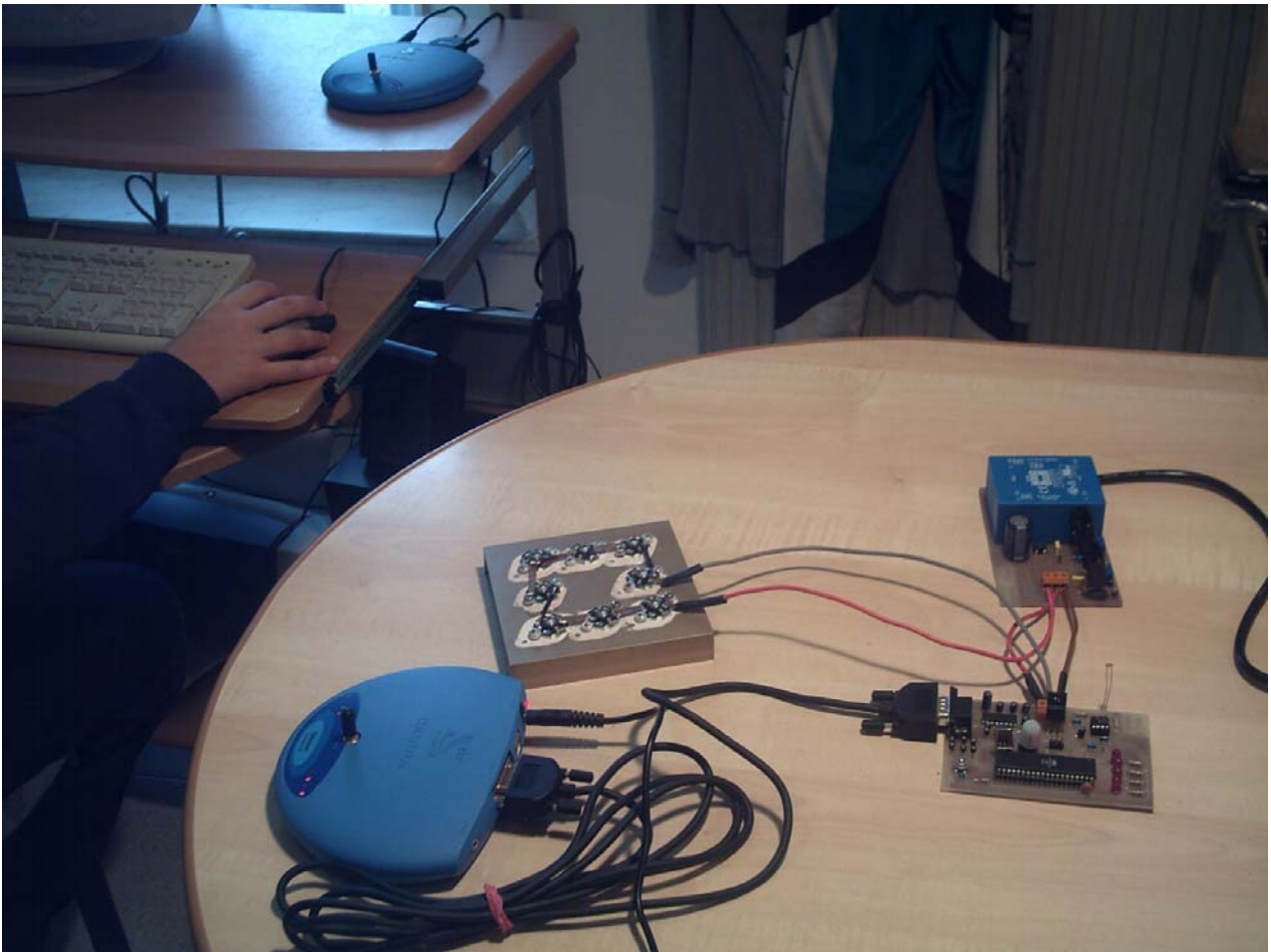
La Sezione di Segnale



I Led Superluminosi



Il prototipo: “BlueLamp”



Il Sistema Complessivo: PC e BlueLamp

APPENDICE B: IL LISTATO SOFTWARE

```
.include "8515def.inc"

;*****
;Inizializzazione del vettore di interrupt
;*****
.org $0000
rjmp start          ;reset
reti                ;ext_int0*
reti                ;ext_int1
reti                ;tim_capt1
reti                ;tim_comp1A
reti                ;tim_comp1B
reti                ;tim_ovf1
.org OVF0addr
rjmp OGNI_10_ms     ;tim_ovf0
reti                ;SPI
.org URXCaddr
rjmp rx             ;uart_rxc
reti                ;uart_dre
reti                ;uart_txc
reti                ;ana_comp

;*****
;Definizione di alcuni registri
;*****

.def ritardorL=r3
                                ;r4 usato in message
.def status=r5
.def m8h=r6
.def risultatoL=r7
.def risultatoH=r8
.def HundredCounter = r9      ;eg. 127 = '1'
.def TenthCounter = r10       ;eg. 127 = '2'
.def OneCounter = r11         ;eg. 127 = '7'

.def valoreL_T=r14
.def temp2=r15
.def temp=r16
.def temp1=r17               ;anche mcnt
.def ndati=r18
.def count=r19
.def diecent=r20
.def finedato=r21
.def count2=r22
.def presenza=r23
.def intval = r24
.def spegni=r25
                                ;r26 XL
```



```

; r27 XH
.def acceso=r28 ; attenz. e' su YL
.def modalita=r29 ; attenz. e' su YH
.def valoreL_T_p=r29 ; attenz. e' su YH
; r30 ZL
; r31 ZH

;*****
;Inizializzazione del Microcontrollare
;*****
start:

;Inizializza lo stack-pointer alla fine della SRAM

ldi temp,low(RAMEND)
out SPL,temp
ldi temp,high(RAMEND);*
out SPH,temp

;Inizializzazione UART

ldi temp,(1<<RXCIE)|(1<<RXEN)|(1<<TXEN) ;abilita l'UART e gli interruptus relativi
out UCR,temp ;in ricezione e trasmissione
ldi temp,$01 ;fissa il baud rate a
out UBRR,temp ;115200 con Fck=3,68 MHz *

;PORTA

ldi temp,$FF;
out DDRA,temp;
ldi temp,$00
out PORTA,temp

;PORTB

ldi temp,$00 ;PORTB in ingresso
out DDRB,temp ;PINB0 sens. temp., PINB2(+) e PINB3(-) del comparatore

;PORTD

ldi temp,$22 ;PD0 ing RX_UART PD1 usc TX_UART
out DDRD,temp ;PD5 uscita PWM sul LED
sbi PORTD,PD5 ;spegni led

;Inizializza TC0

ldi temp,(1<<TOIE0);Setta TOIE0 TC0 Overflow Int Enable
out TIMSK,temp;
ldi temp,(1<<CS02)|(0<<CS01)|(1<<CS00); Prescaler a 1024
out TCCR0,temp

```

```

;Inizializza TC1 come 8-bit PWM

ldi temp,$81                ;Non-Inv PWM, 8 Bit
out TCCR1A,temp ;
ldi temp, 0b00000001        ;enable Timer 1 with no prescaler
out TCCR1B,temp

;Inizializza la sleep "idle mode"

;ldi temp,(0<<SM)|(1<<SE)
;out MCUCR,temp

;Inizializza i registri

ldi acceso,1
ldi presenza,1
clr finedato
ldi XL,low(datiluce)
ldi XH,high(datiluce)
ldi ndati,$05
clr risultatoL
clr risultatoH

.*****
,** LETTURA DALLA EEPROM DELLA MODALITA E DEL RITARDO **
.*****

EERead_modalita:
sbic EECR,EWE                ;if EWE not clear
rjmp EERead_modalita        ;wait more
ldi temp,$00
out EEARH,temp               ;output address high byte,
ldi temp,$00                 ;remove if no high byte exist
out EEARL,temp               ;output address low byte
sbi EECR,EERE                ;set EEPROM Read strobe

in MODALITA,EEDR             ;get data

EERead_ritardorL:

sbic EECR,EWE                ;if EWE not clear
rjmp EERead_ritardorL        ;wait more
ldi temp,$00
out EEARH,temp               ;output address high byte,
ldi temp,$01                 ;remove if no high byte exist
out EEARL,temp               ;output address low byte
sbi EECR,EERE                ;set EEPROM Read strobe

in ritardorL,EEDR            ;get data
sts ritardorL,ritardorL      ;byte della SRAM assegnati al ritardo

```

```

;!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
;RIPRISTINA_LED: ldi temp,$00;  disabilitata perchè non capita
;                out OCR1AH,temp1
;                lds temp1,ritardoL
;                lsl temp1
;                out OCR1AL,temp1
;!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!

.*****
;
;  ***  Inserimento di un ritardo prima dei mess di interfaccia
.*****
;

        ldi temp,$ff
        mov r9,temp
        mov r10,temp

dely:   dec r9
        brne dely
        dec r10
        brne dely

.*****
;
;  ***  INVIA I MESSAGGI DI INTEFACCIA      ****
.*****
;

        ldi ZH,high(2*mess0)      ;Messaggio di Benvenuto
        ldi ZL,low(2*mess0)
        rcall message

        ldi ZH,high(2*mess1)      ;Comunicazione Modalità
        ldi ZL,low(2*mess1)
        rcall message

        cpi modalita,1
        brne ver_11
        ldi ZH,high(2*mod_man)
        ldi ZL,low(2*mod_man)
        rcall message

ver_11: cpi modalita,2
        brne ver_22
        ldi ZH,high(2*mod_auto)
        ldi ZL,low(2*mod_auto)
        rcall message

ver_22: cpi modalita,3
        brne cont
        di ZH,high(2*mod_anti)
        ldi ZL,low(2*mod_anti)
        rcall message

```

```

cont:  ldi ZH,high(2*mess6)      ;Comunicazione Luminosità'
        ldi ZL,low(2*mess6)      ;Registrata
        rcall message

clr    HundredCounter          ;Passaggio dal numero binario
clr    TenthCounter            ;
clr    OneCounter              ;
ldi    temp1,48                ;alle cifre decimali

mov    intVal,ritardorL        ;
rcall  IntToASCII              ;da visualizzare su schermo

Cif_1_L:  out UDR,HundredCounter ;invia cifra delle centinaia
          sbis USR,6              ;attendo che il txc bit sia 1
          rjmp Cif_1_L
          sbi USR,6              ;metto il bit txc a zero

Cif_2_L:  out UDR,TenthCounter   ;invia cifra delle decine
          sbis USR,6
          rjmp Cif_2_L
          sbi USR,6

Cif_3_L:  out UDR,OneCounter;    invia cifra delle unità
          sbis USR,6
          rjmp Cif_3_L
          sbi USR,6

Ins_val:  ldi ZH,high(2*mess2);   Richiesta Inserimento valore
          ldi ZL,low(2*mess2)
          rcall message

          ldi ZH,high(2*mess5);   Esempi di modalita
          ldi ZL,low(2*mess5)
          rcall message

          ldi ZH,high(2*mess3);   Esempi di intensità luminosa
          ldi ZL,low(2*mess3)
          rcall message

sei                          ;abilitazione degli interrupt

;*****
;          ***    CICLO DI ATTESA PRINCIPALE    ***
;*****
;

wait_man: cpi modalita,2          ;man = modalità 1
          breq wait_auto          ;cambiare modalita?
          cpi modalita,3
          breq wait_anti
          cpi spegni,1            ;spegnere?
          breq spegni_lamp

```

	cpi finedato,1 brne wait_man	;è arrivato un dato? ;attendilo!
	rcall procedi rcall AGGIORNA_LED rjmp wait_man	;analizza il dato ;aggiorna l'intesità
wait_anti:	cpi modalita,1 breq wait_man cpi modalita,2 breq wait_auto	;anti = modalità 3 ;cambiare modalita?
	cpi presenza,1 brne non_suona rcall suona_sirena	;c'è intruso? ;attiva l'allarme
non_suona:	cpi finedato,1 brne wait_anti	;è arrivato un dato? ;attendilo!
	rcall procedi rcall AGGIORNA_LED rjmp wait_anti	;analizza il dato ;aggiorna l'intesità
wait_auto:	cpi modalita,1 breq wait_man cpi modalita,3 breq wait_anti	;auto = modalità 2 ;cambiare modalita?
	cpi spegni,1 breq spegni_lamp	;spegnere ?
	cpi presenza,1 brne dopoacc cpi acceso,0 brne dopoacc rjmp accendi_lamp ;accendila!	;rilevata presenza? ;se c'è presenza e lampada spenta
dopoacc:	cpi finedato,1 brne wait_auto	;è arrivato un dato? ;attendilo!
	rcall procedi rcall AGGIORNA_LED rjmp wait_auto	;analizza il dato ;aggiorna l'intesità

```

.*****
;
;*** PROCEDURA DI ACCENSIONE LAMPADA (per modalità automatica) ***
;
.*****

```

```

accendi_lamp:ldi temp1,80          ;accendi a 80

```

```

        sts ritardoL,temp1
        ldi acceso,1
        rjmp dopoacc                ;ritorna nel loop wait_auto

;*****
;*** PROCEDURA DI SPEGNIMENTO, SALVA MODALITA E RITARDO ***
;*****

spegni_lamp:
        ldi acceso,0
        ldi spegni,0
        ldi temp1,0
        sts pres_si_no,temp1

        cli

EEWrite_modalita:
        sbic EECR,EEWE                ;if EEWE not clear
        rjmp EEWrite_modalita        ;wait more

        ldi temp1,$00
        out EEARH,temp1                ;output address high byte,
        ldi temp1,$00
        out EEARL,temp1                ;output address low byte

        out EEDR,MODALITA                ;output data

        sbi EECR,EEMWE                ;set master write enable,
        sbi EECR,EEWE                ;set EEPROM Write strobe

EEWrite_ritardorL:
        sbic EECR,EEWE                ;if EEWE not clear
        rjmp EEWrite_ritardorL        ; wait more

        ldi temp1,$00
        out EEARH,temp1                ;output address high byte,
        ldi temp1,$01
        out EEARL,temp1                ;output address low byte
        lds temp1,ritardoL                ;inizializza il contenuto
        out EEDR,temp1                ;output data
        sbi EECR,EEMWE                ;set master write enable
        sbi EECR,EEWE                ;set EEPROM Write strobe

        ldi ZH,high(2*mess4)                ;Memorizzazioni Effettuate
        ldi ZL,low(2*mess4)
        rcall message

        ldi temp1,255
        out OCR1AL,temp1

        sei

```

;in fase di simulaz. ora ritornavo ai main...

```
    cpi modalita,2
    breq wait_auto
    cpi modalita,3
    breq wait_anti_p
    rjmp wait_man
```

wait_anti_p:rjmp wait_anti

```
.*****
;
;*** PROCEDURA DI ALLARME CHE FA SUONARE LA SIRENA ***
;
;*****
```

Suona_Sirena:

```
    sbi PORTA,PA4
    ldi temp1,$ff
    mov r9,temp1
    mov r10,temp1
    ldi temp1,50
    mov r11,temp1
dely_sir:    dec r9
                    brne dely_sir
                    dec r10
                    brne dely_sir
                    dec r11
                    brne dely_sir
    cbi PORTA,PA4
    ldi presenza,0
    ret
```

```
.*****
;
;*** PROCEDURA DI INTERPRETAZIONE DEL DATO FORNITO DA TASTIERA *
;
;*****
```

```
procedi:    cpi ndati,$00                ;controlla che ndati sia <=4
            brne step1                  ;che il campo dati sia al max di 3
            ldi ZH,high(2*error2)        ;se il 5 caratt. è un num ndati=0
            ldi ZL,low(2*error2)
            rcall message
            rjmp riparti
```

```
step1:      ldi XL,low(datiluce) ;controlla che il primo dato
            ldi XH,high(datiluce)
            ld temp,X+
            cpi temp,$6c                ;sia una l
            breq numero
            cpi temp,$6d                ;o una m
            breq numero
            cpi temp,$73                ;o una s
            breq numero
```

```

        cpi temp,$70                ;o una p
        breq numero
        ldi ZH,high(2*error)
        ldi ZL,low(2*error)
        rcall message
        rjmp riparti

NUMERO:  ld temp,X                  ;controlla che gli altri dati
        cpi temp,$30                ;siano numeri decimali
        brpl step2
        ldi ZH,high(2*error3)
        ldi ZL,low(2*error3)
        rcall message
        rjmp riparti

step2:  cpi temp,$3a
        brmi innum
        ldi ZH,high(2*error3)
        ldi ZL,low(2*error3)
        rcall message
        rjmp riparti

innum:   andi temp,$0f              ;memorizza il numero
        st X+,temp                  ;!!!;effettivo fornito da tastiera nelle
        inc ndati                   ;locazioni della SRAM
        cpi ndati,$04
        brne NUMERO

;controlla se il numero è su tre cifre in caso contrario calcola direttamente

        cpi XL,low(datiluce+4)      ;infatti e di sicuro < 256
        brne calcolo
        cpi XH,high(datiluce+4)
        brne calcolo

        ldi XL,low(datiluce+1)
        ldi XH,high(datiluce+1)
        ld temp,X+

;!!!
;!!! Stabilire il numero di confronto (es. 999)

        cpi temp,$09                ;controlla che la prima cifra(delle 3)
        brmi step3                  ;sia minore di 3
        ldi ZH,high(2*error2)
        ldi ZL,low(2*error2)
        rcall message
        rjmp riparti

step3:  cpi temp,$09                ;se la prima cifra è 2 controlla che la

```



```

        brne ok                    ;seconda non sia maggiore di 5
        ld temp,X+
        cpi temp,$09
        brmi step4
        ldi ZH,high(2*error2)
        ldi ZL,low(2*error2)
        rcall message
        rjmp riparti

step4:   cpi temp,$09              ;se la seconda cifra è 5 controlla
        brne ok                    ;che la terza non sia superiore a 5
        ld temp,X+
        cpi temp,$09
        brmi calcolo
        ldi ZH,high(2*error2)
        ldi ZL,low(2*error2)
        rcall message
        rjmp riparti

ok:      ldi XL,low(datiluce+4)
        ldi XH,high(datiluce+4)

.*****
,
.***  CALCOLA IL NUMERO FORNITO DA TASTIERA  ***
,
.***  E ALLA FINE LO METTE IN RISULTATO      ***
,
.*****

CALCOLO  :ld temp,-X
          add risultatoL,temp

          cpi XL,low(datiluce+1)
          breq endc2
          rjmp continua

endc2:   cpi XH,high(datiluce+1)
          breq endc

continua: ld temp,-X
          ldi diecent,$0a
          rcall multiply

          add risultatoL,temp
          adc risultatoH,m8h

          cpi XL,low(datiluce+1)
          breq endc3
          rjmp continua2
          endc3:cpi XH,high(datiluce+1)
          breq endc

continua2: ld temp,-X
          ldi diecent,$64

```

```

        rcall multiply
        ;fine calcolo del numero e ins in risL e risH
        add risultatoL,temp
        adc risultatoH,m8h  ;

.*****
;
; ** INTERPRETAZIONE DEL DATO E SUOI EFFETTI **
;
.*****

endc:   mov temp1,risultatoL

        cpi temp1,$01
        breq mem_mod
        cpi temp1,$02
        breq mem_mod
        cpi temp1,$03
        breq mem_mod
        cpi temp1,$04
        breq mem_pres_on
        cpi temp1,$05
        breq mem_pres_off
        cpi temp1,$06
        breq vado_a_spegne

;!!!

        ;cpi temp1,$09
        ;brmi riparti
        ;cpi temp1,$7f
        ;brpl riparti

;!!!

        sts ritardoH,risultatoH      ;eseguita se le prec. tutte false
        sts ritardoL,risultatoL      ;salva il risultato di calcolo nei due
                                      ;byte della SRAM assegnati al ritardo
        ldi ZH,high(2*lum_var)
        ldi ZL,low(2*lum_var)
        rcall message
        rjmp riparti

mem_mod:  mov modalita,risultatoL
        ldi ZH,high(2*mod_var)
        ldi ZL,low(2*mod_var)
        rcall message

        cpi modalita,1
        brne ver_1
        ldi ZH,high(2*mod_man)
        ldi ZL,low(2*mod_man)
        rcall message
        rjmp riparti

ver_1:   cpi modalita,2

```

```

        brne ver_2
        ldi ZH,high(2*mod_auto)
        ldi ZL,low(2*mod_auto)
        rcall message
        rjmp riparti

ver_2:   cpi modalita,3
        brne riparti
        ldi ZH,high(2*mod_anti)
        ldi ZL,low(2*mod_anti)
        rcall message
        rjmp riparti

;-----
mem_pres_on:ldi presenza,1
            ldi ZH,high(2*pres_si)
            ldi ZL,low(2*pres_si)
            rcall message
            rjmp riparti

mem_pres_off:   cpi presenza,1
                brne no_f
                ldi temp1,1
                sts pres_si_no,temp1
no_f:          ldi presenza,0
                ldi ZH,high(2*pres_no)
                ldi ZL,low(2*pres_no)
                rcall message
                rjmp riparti

;-----

vado_a_spegne:  ldi spegni,1
                ldi ZH,high(2*vado_spegne)
                ldi ZL,low(2*vado_spegne)
                rcall message
                rjmp riparti

riparti:        clr risultatoL      ;reinizializza i registri
                clr risultatoH
                clr finedato
                ldi XL,low(datiluce)
                ldi XH,high(datiluce)
                ldi ndati,$05
                ldi temp,$D8        ;riabilita l'UART e gli interrupts relativi
                out UCR,temp        ;in ricezione e trasmissione
                ret

```

```

;*****
;* ROUTINE DI AGGIORNAMENTO DEL VALORE DI INTENSITA' DEL LED
;*****

```

```

AGGIORNA_LED: ldi temp1,$00
               out OCR1AH,temp1
               lds temp1,ritardoL
               lsl temp1
               out OCR1AL,temp1
               ret

```

```

;*****
;*** ROUTINE DI INTERRUPT CHE MEMORIZZA IL DATO DA TASTIERA
;*****

```

```

rx:            in status,SREG                ;salva lo SREG
               push r16
               in temp,UDR                    ;lettura del dato
               out UDR,temp                  ;eco del dato fornito
                                               ;da tastiera

waittx:        sbis USR,TXC
               rjmp waittx
               cpi temp,$0d                  ;controlla la fine del dato, verificando se e'
               breq finenum                  ;arrivato il ritorno carrello
               st X+,temp                    ;immagazina il dato
               dec ndati                     ;controlla i dati forniti
               brne endrx                   ;siano al massimo cinque

finenum:       ldi finedato,$01
               ldi temp,$4                  ;disabilita l'UART in
               out UCR,temp                  ;ricezione
                                               ;!!! forse meglio disab. Tutta!!!

endrx:         pop r16
               out SREG,status
               reti

```

```

;*****
;***** ROUTINE DI INTERRUPT CHE CALCOLA LA TEMPERATURA ***
;*****

```

```

OGNI_10_ms: in status,SREG ;salva lo SREG

```

```

               inc count
               cpi count,255
               breq calc_temp_255
               rjmp fine_temp

```

```

calc_temp_255:

```

```

;-----
               cpi presenza,0                ;se presenza 0

```

```

    brne start_temp
    lds temp1,pres_si_no
    cpi temp1,1                ;e se pres_si_no 1
    brne start_temp
    ldi spegni,1                ;allora spegni
    ;-----

start_temp:    ldi count,0
               ldi temp,(1<<CS12)|(1<<CS11)|(1<<CS10);TC0 come contatore
               out TCCR0,temp                ; sul fronte in salita dell'onda quadra

               ;*** acquisisci i fronti per un secondo
               ;*** tarare il ritardo rispetto al clk

               ldi temp,$ff
               mov r9,temp
               mov r10,temp
               ldi temp,21
               mov r11,temp

dely_temp:    dec r9
               brne dely_temp
               dec r10
               brne dely_temp
               dec r11
               brne dely_temp

               ldi temp,$00                ;Ferma il contatore
               out TCCR0,temp
               in valoreL_T,TCNT0          ;leggi il numero di fronti acquisiti
               ldi temp,$00                ;Azzera il contatore
               out TCNT0,temp

;Ripredisponi il Tc0 all'ovr ogni 10 ms

               ldi temp,(1<<CS02)|(0<<CS01)|(1<<CS00);Prescaler a 1024
               out TCCR0,temp

               lds temp,valoreL_T_p
               cp valoreL_T,temp
               breq fine_temp

;Se il valore calcolato differisce dal precedente
;ricava le cifre decimali e comunica la temperatura

               clr          HundredCounter    ; set counters values to zero
               clr          TenthCounter
               clr          OneCounter
               ldi          temp1,48

```

```

        mov    intVal,valoreL_T
        rcall  IntToASCII

        ldi    ZH,high(2*agg_temp)
        ldi    ZL,low(2*agg_temp)
        rcall  message

Cif_1_T:    out    UDR,HundredCounter    ; Comunica Centinaia
            sbis   USR,6
            rjmp   Cif_1_T
            sbi    USR,6

Cif_2_T:    out    UDR,TenthCounter      ; Comunica Decine
            sbis   USR,6
            rjmp   Cif_2_T
            sbi    USR,6

Cif_3_T:    out    UDR,OneCounter        ; Comunica unità
            sbis   USR,6
            rjmp   Cif_3_T
            sbi    USR,6

        ldi    temp1,$0a                ;Dai un Line Feed
        out    UDR,temp1
LF:         sbis   USR,6
            rjmp   LF
            sbi    USR,6

        ldi    temp1,$0d                ;Dai un Return Carriage
        out    UDR,temp1
RC:         sbis   USR,6
            rjmp   RC
            sbi    USR,6

        sts    valoreL_T_p,valoreL_T
        ;
        ;cpi    presenza,0
        ;brne   fine_temp
        ;lds    temp1,pres_si_no
        ;cpi    temp1,1
        ;brne   fine_temp
        ;ldi    spegni,1
fine_temp:  out    SREG,status
reti

;*****
;*** ROUTINE CHE FORNISCE I MESSAGGI DI INTERFACCIA ***
;*****

message:    in     r4,SREG                ;salva lo SREG
            push   r4

```

```

loadbyte:    lpm
              tst r0
              breq fine

waittx1:     sbis USR,UDRE           ;aspetta che il caratt. sia tx
              rjmp waittx1
              out UDR,r0             ;carica il dato nella UART
              adiw ZH:ZL,1
              rjmp loadbyte

fine:        pop r4                  ;recupera lo SREG
              out SREG,r4
              ret

```

```

;*****
;
;**  ROUTINE CHE EFFETTUA LA MOLT TRA IL DATO FORNITO E 10 O 100  **
;
;*****

```

```

multiply:    clr m8h
              ldi temp1,$08
              lsr temp
mult8:       brcc noad
              add m8h,diecent
noad:        ror m8h
              ror temp
              dec temp1
              brne mult8
              ret

```

```

;*****
;
;*** Integer to ASCII converter subroutine here
;
;*****

```

```

IntToASCII:
              cpi    intVal,100
              brge   DivideBy100           ; jump if (intVal>=100)
              cpi    intVal,10
              brge   DivideBy10            ; jump if (intVal>=10)
              mov    OneCounter,intVal
              add     HundredCounter,temp1  ;here, we got there single digits
              add     TenthCounter,temp1    ; from that, we convert them to
              add     OneCounter,temp1      ; ASCII values !!!
              ret

```

```

DivideBy100:
              subi    intVal,100
              inc     HundredCounter
              rjmp    IntToASCII

```

```

DivideBy10:
              subi    intVal,10
              inc     TenthCounter
              rjmp    IntToASCII

```

```

,*****
,
,***  VARI MESSAGGI DI INTEFACCIA  ***
,
,*****
,

```

error:

```

.db $0a,$0d,"NOTA:La prima lettera deve essere una l o una m",$0a,$0d
.db 0

```

error2:

```

.db $0a,$0d,"NOTA:Il numero deve essere minore di 125",$0a,$0d
.db 0

```

error3:

```

.db $0a,$0d,"Inserire cifre da 0 a 9",$0a,$0d
.db 0

```

lum_var:

```

.db $0a,$0d,"Luminosita' Variata",$0a,$0d
.db 0

```

mess0:

```

.db $0a,$0a,$0a,$0a,$0d,"Benvenuti nell'interfaccia utente per BlueLamp",$0a,$0d
.db 0

```

mess1:

```

.db $0a,$0d,"Il dispositivo e' in modalita: "
.db 0

```

mess6:

```

.db $0a,$0d,"La luminosita' e' impostata a: "
.db 0

```

mess2:

```

.db $0a,$0d,$0a,$0d,"Inserire un valore <125 preceduto da una l",$0a,$0d
.db 0

```

mess3:

```

.db $0a,$0d,"Esempio: 125 (max lux) 1125 (min lux) ",$0a,$0d
.db 0

```

mess4:

```

.db $0a,$0d,"Memorizzazioni effettuate",$0a,$0d
.db 0

```

mess5:

```

.db $0a,$0d,"Per cambiare modalita: m001--> man m002-->auto m003-->anti",$0a,$0d
.db 0

```

mod_var:

```

.db $0a,$0d,"Modalita Cambiata in : ",$0a,$0d
.db 0

```



```

mod_man:
.db "Manuale", $0a, $0d
.db 0

```

```

mod_auto:
.db "Automatica", $0a, $0d
.db 0

```

```

mod_anti:
.db "Antifurto", $0a, $0d
.db 0

```

```

agg_temp:
.db $0a, $0d, "New Temp : "
.db 0

```

```

pres_si:
.db $0a, $0d, "Pres SI", $0a, $0d
.db 0

```

```

pres_no:
.db $0a, $0d, "Pres NO", $0a, $0d
.db 0

```

```

vado_spegne:
.db $0a, $0d, "Spengo", $0a, $0d
.db 0

```

```

;*****
;
; *** INIZIALIZZA UNA PILA DI DATI NELLA SRAM ***
;*****
;

```

```

.DSEG

```

```

datiluce:      .BYTE 5                ;assegna al numero fornito da tastiera
                                           ;le prime cinque locazioni della SRAM

```

```

ritardoH:      .BYTE 1
ritardoL:      .BYTE 1

```

```

valoreL_T_p:   .BYTE 1

```

```

pres_si_no:    .BYTE 1

```

Bibliografia

- [1] Navigant Consulting Inc., “Energy Savings Potential of Solid State Lighting in General Illumination Application”, Washington DC, November 2003
- [2] Navigant Consulting Inc., “Energy Savings Estimates of Light Emitting Diodes in Niche Lighting Application”, Washington DC, November 2003
- [3] Glenn Zorpette, “Let There Be Light”, IEEE Spectrum, September 2002
- [4] Alex Ryer, “Light Measurement Handbook”, International Light, 1998
- [5] OSRAM, “Fondamenti d’Illuminotecnica”, Marzo 2000
- [6] Bluetooth SIG, “Specifications of the Bluetooth System CORE Volume1” versione 1.1, 22 Febbraio 2001
- [7] Bluetooth SIG, “Specification of the Bluetooth System PROFILES Volume2” versione 1.1, 22 Febbraio 2001
- [8] CSR, “Casira Bluetooth Development Kit”, Datasheet, Agosto 2000
- [9] CSR, “BlueCore02-External Single Chip Bluetooth System”, Datasheet, May 2002
- [10] CSR, “RS232 Cable Replacement, Example Design for Bluecore2-External”, May 2003
- [11] Carlo Napoli, “Progettazione di un sistema di comunicazione audio wireless per motoveicoli, basato sulla tecnologia Bluetooth”, Tesi di Laurea, Università di Pisa, Corso di Studi in Ingegneria Elettronica, 2003
- [12] Marco Benvenuti, “Progettazione di un Access Point Bluetooth” per la creazione di una rete telematica in una banca del sangue”, Tesi di Laurea, Università di Pisa, Corso di Studi in Ingegneria Elettronica, 2003
- [13] SKYNET, “Un frutto intelligente”, ADPM Synthesis, Giugno 2001
- [14] Ludovico Basile, “Modellizzazione e simulazione di un elemento non lineare”, Tesi di Laurea, Università di Pisa, Corso di Studi in Ingegneria Elettronica, 2003
- [15] Cristina Coviello, “Regolazione dell’intensità luminosa dei tubi fluorescenti”, Tesi di Laurea, Università di Pisa, Corso di Studi in Ingegneria Elettronica, 2003
- [16] Dal Canto, “Progetto e Realizzazione di un controllore per lampade alogene via Personal Computer”, Tesi di Laurea, Università di Pisa, Corso di Studi in Ingegneria Elettronica, 2002

Documentazione sui LED LUXEON:

- [17] Lumileds, “Lumen Maintenance of White Luxeon Power Light Sources”, 2002
- [18] Lumileds, “Luxeon Line DS21”, “Luxeon Ring DS22”, “Luxeon Flood DS24”, “Luxeon III Emitter DS45”, “Luxeon Star DS23”, 2002
- [19] Lumileds, “Custom Luxeon Design Guide”, 2002
- [20] Lumileds, “Considerazioni in materia di progettazione termica per le sorgenti luminose Luxeon”, Agosto 2003
- [21] Istruzioni Applicative dal sito www.luxeon.com

Documentazione per lo sviluppo del firmware:

- [22] Atmel Inc., “AVR STK500 User Guide”
- [23] Atmel Inc., “AVR Assembler User Guide”, 1998
- [24] Atmel Inc., “AVR Instruction Set”, 1999
- [25] “Application Note for AVR” dai siti

www.avrbeginners.net
www.avrfreaks.net
www.atmel.com

- [26] AVR042: AVR Hardware Design Consideration
- [27] AVR100: Accessing the EEPROM
- [28] AVR182: Zero Cross Detector
- [29] AVR130: Setup and Use the AVR Timers
- [30] AVR128: Setup and Use the Analog Comparator
- [31] AVR072: Accessing 16-bit I/O Registers
- [32] AVR085: Replacing AT890S8515 by ATmega8515
- [33] AVR109: Self Programming
- [34] AVR #004: Common Use of the AVR Hardware UART
- [35] AVRFreaks #003: AVR Sleep Modes
- [36] AVRFreaks #006: AVR Memory Content After Sleep and Reset
- [37] AVRFreaks #032: AVR Boot Loader
- [38] Atmel White Paper: Atmel’s Self-Programming Flash Microcontroller

Datasheet dei componenti fondamentali per Bluelamp:

- [39] Atmel Inc., AT90S8515, “8-Bit AVR Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash”, Settembre 2001
- [40] Atmel Inc., ATmega8515, “8-Bit AVR Microcontroller with 8K Bytes In-System Programmable Flash”, Settembre 2001

- [41] Intersil, ICL232, “Dual RS-232 Trasmittter/Receiver”, August 1997
- [42] Maxim, MAX6576/6577, “Temperature Sensors with Period/Frequency Output”, Aprile 1999
- [43] ST, TS555, “Low Power Single CMOS Timer”, Febbraio 2003
- [44] Taos, TSL235R, “Light to Frequency Converter”, Aprile 2002
- [45] Nais, NAPION, “Motion Sensor, Passive Infrared Type”, Gennaio 2001
- [46] International Rectifier, IRLI3705N, HEXFET Power MOSFET, Agosto 1997
- [47] International Rectifier, IRLIZ44N, HEXFET Power MOSFET, Agosto 1997
- [48] ST, L200, “Adjustable voltage and current regulator”, Gennaio 2000
- [49] ST, L200, “A Designer’s Guide to the L200 Voltage Regulator”, Gennaio 2000
- [50] Fairchild, DF005M, “Bridge Rectifiers”, 2001
- [51] Lumileds, “Luxeon III Star Technical Datasheet DS46”, Giugno 2004
- [52] ST, BTA0600TW, “Snubberless, Logic Level, Standard, 6 A TRIAC”, Settembre 2000
- [53] Moduli Bluetooth:
- www.admya.com
- www.brainboxes.com
- www.mobit.com
- www.connectblue.se
- www.wirelessfuture.com

Ringraziamenti

Innanzitutto vorrei ringraziare Mariacarmela, la mia ragazza, alla quale con questo lavoro di tesi ho dovuto sottrarre molto tempo del nostro rapporto: il suo continuo incoraggiamento e sostegno mi sono stati più volte indispensabili.

Vorrei poi ringraziare gli Ingegneri della Giusti-Scebba, Andrea e Davide, senza l'aiuto costante e prezioso dei quali i risultati di questa tesi sarebbero stati ben diversi: auguro loro tutta la fortuna che meritano.

Ringrazio il prof. Roncella che mi ha seguito passo passo su tutti gli aspetti della tesi e sulle intuizioni del quale è fondato gran parte di questo lavoro.